

22630/H/05



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

PENGUKURAN RESISTIVITAS UNTUK MENENTUKAN FAKTOR FORMASI DAN KONDUKTIVITAS PERMUKAAN PADA TANAH PASIR

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu dan
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika FMIPA



RSFi
624.151 36
Wat
P-1
2004

Disusun Oleh :

SITI MARDIANA WATI
NRP. 1199 100 023

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2004

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	26-02-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	219767

**PENGUKURAN RESISTIVITAS UNTUK MENENTUKAN
FAKTOR FORMASI DAN KONDUKTIVITAS PERMUKAAN
PADA TANAH PASIR**

Oleh :

SITI MARDIANA WATI
NRP. 1199 100 023

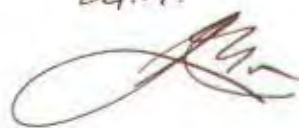
Mengetahui

Pembimbing I




DR. Widva Utama, DEA
NIP. 131 782 010

Pembimbing II

a.n.


Ir. Amin Widodo, M.Si
NIP. 131 790 687

Diketahui,
Ketua Jurusan Fisika
FMIPA ITS



Drs. Triwikantoro, M.Sc
NIP. 131 879 381

ABSTRAK

Resistivitas batuan merupakan fungsi dari kandungan air, tingkat konektifitas antar pori materi penyusun batuan. Akan diukur resistivitas batuan sebagai fungsi dari resistivitas fluida. Dari hasil pengukuran akan ditentukan faktor formasi (F) dan konduktifitas permukaan (σ_s) menunjukkan konektifitas antar pori dan konduktifitas permukaan berasosiasi dengan luas permukaan pori.

Tugas akhir ini mencoba menyelidiki pengaruh dari faktor kepadatan, larutan elektrolit pengisi pori dan porositas tanah terhadap faktor formasi dan konduktivitas dari tanah pasir yang dimasukkan kedalam tabung PVC berbentuk silinder dan ujungnya diberi elektroda tembaga dalam keadaan tersaturasi penuh yang kemudian diukur resistivitasnya dengan menggunakan Automatic RCL meter.

Hasil yang diperoleh adalah semakin padat suatu tanah maka harga resistivitasnya akan semakin besar. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa faktor formasi tanah pasir yang tersaturasi penuh bukan merupakan fungsi dari resistivitas larutan pengisi pori melainkan fungsi dari struktur geometri pori itu sendiri. Sedangkan konduktivitas permukaan dari tanah pasir dipengaruhi oleh porositas dari tanah yang berasosiasi dengan luas permukaan pori, berhubungan positif terhadap konduktivitas permukaan.

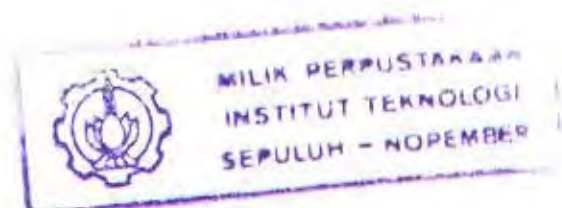
Kata kunci: resistivitas, faktor formasi, konduktivitas permukaan, porositas.

KATA PENGANTAR

Pertama-tama kami mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya sehingga memungkinkan terselesaikannya tugas akhir yang berjudul "PENGUKURAN RESISTIVITAS UNTUK MENENTUKAN FAKTOR FORMASI DAN KONDUKTIVITAS PERMUKAAN PADA TANAH PASIR", sebagai salah satu persyaratan untuk dapat menyelesaikan studi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan mulai dari perencanaan sampai dengan penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak DR. Widya Utama, DEA selaku dosen pembimbing I yang telah dengan penuh kesabaran memberikan petunjuk dan bimbingan yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini maupun di masa yang akan datang.
2. Bapak Ir. Amien Widodo, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah dengan penuh kesabaran memberi kesempatan, masukan-masukan, dorongan dan bimbingan dalam tugas akhir.
3. Bapak Dr. Triwikantoro, M.Sc selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA dan Bapak Drs. Mashuri, M.Si selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah membantu mengurus administrasi yang berkaitan dengan tugas akhir.
4. Bapak DR. Ir. Eddy Yahya, M.Sc selaku dosen wali yang telah memberi bantuan dan bimbingan.



5. Bapak DR. rer.nat Makky Sandrajaya, Bapak DR. Bagus Jaya S., Bapak A. Syaeful Bahri, M.Si dan Bapak Dwa Desa Warnana, M.Si selaku dosen-dosen Geofisika yang memberikan ilmu dan pengetahuannya kepada penulis.
6. Bapak DR. Moh. Zaenuri M.Si, Bapak Sukir dan seluruh karyawan Lab. Fisika Dasar yang telah membantu dalam pembuatan alat ukur.
7. Bapak Harry dan seluruh karyawan Lab. Mekanika Tanah Teknik Sipil ITS yang telah membimbing dan membantu kami dalam pengambilan data.
8. Yang tercinta Bapak dan Ibu orang tua yang selalu memberikan do'a, motivasi, dan do'a restu baik moral maupun material selama penulis menuntut ilmu.
9. Adik Dwi Mardianitasari, sebagai adik yang selalu memberikan semangat dan siap mendengarkan kapanpun dibutuhkan.

Masih banyak pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat kami sebut satu per satu. Semoga Allah SWT membalas semua bantuan yang diberikan mereka.

Pada akhirnya penulis menyadari akan segala keterbatasan yang terdapat dalam tugas akhir ini, sehingga segala kritik dan saran kami harapkan untuk perbaikan-perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang berkepentingan.

Surabaya, Februari 2004

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Bab I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
Bab II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanah	4
2.1.1 Definisi Tanah	4
2.1.2 Komposisi Tanah	4
2.1.3 Hubungan Tanah dan Air	4
2.1.4 Klasifikasi Tanah	7
2.1.4.1 Tekstur Tanah	8
2.1.4.2 Klasifikasi Tanah Menurut USCS	9
2.1.4.3 Metode Mengklasifikasi Tanah	11
2.1.4.4 Grafik Distribusi Ukuran Butir	12

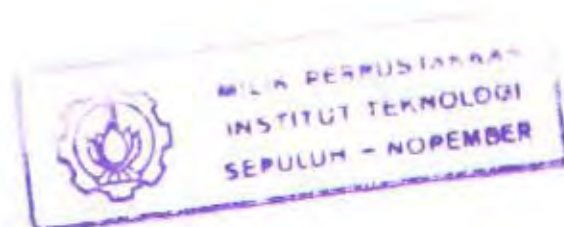
2.2 Resistivitas	15
2.2.1 Sifat Kelistrikan Batuan	15
2.2.2 Potensial Listrik Batuan	15
2.2.3 Sifat Tahanan Jenis Batuan Berpori	17
2.3 Konduktivitas Listrik Batuan	22
Bab III METODOLOGI	24
3.1 Diagram Alir Pengambilan Data	24
3.2 Pembuatan Sampel Tanah dan Test Analisa Ayakan	25
3.3 Mengukur Resistivitas Tanah dalam Laboratorium	27
3.4 Pengolahan Data	28
Bab IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Analisa Data	30
4.1.1 Asal Tanah dan Kandungan Air	30
4.1.2 Penentuan Spesific Gravity Tanah	31
4.1.3 Indeks Properti dari Sampel Tanah	34
4.1.4 Resistivitas Sampel Tanah	36
4.1.5 Perhitungan Faktor Formasi dan Konduktivitas Permukaan	42
4.2 Pembahasan	44
4.2.1 Menentukan Hubungan Konduktivitas Tanah dan Konduktivitas Larutan	44
4.2.2 Menentukan Nilai Faktor Formasi dan Konduktivitas Permukaan	46
4.2.3 Menentukan Hubungan antara Faktor Formasi dan Porositas	52

4.2.4 Membandingkan Hasil Permodelan dengan Permodelan	
J. H. Schon	54
4.2.5 Analisa Fotografi	55
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elemen tanah dan diagram blok elemen tanah	5
Gamabr 2.2 Kurva distribusi ukuran partikel	12
Gambar 2.3 Cara menentukan harga parameter	13
Gambar 2.4 Mekanisme potensial elektrokinetik	16
Gambar 3.1 Diagram alir pengambilan data	24
Gambar 3.2 Rangkaian alat pengukuran	28
Gambar 4.1 Grafik distribusi ukuran butir sampel 1	33
Gambar 4.2 Grafik distribusi ukuran butir sampel 2	34
Gambar 4.3 Grafik logaritmik konduktivitas tanah SW-konduktivitas larutan.....	45
Gambar 4.4 Grafik logaritmik konduktivitas tanah SP – konduktivitas larutan	45
Gambar 4.5 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada Tanah SW padat 1	46
Gambar 4.6 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada Tanah SW padat 2	47
Gambar 4.7 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada Tanah SW padat 3	48
Gambar 4.8 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada Tanah SP padat 1	49
Gambar 4.9 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada Tanah SP padat 2	50

Gambar 4.10 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada Tanah SP padat 3	50
Gambar 4.11 Grafik hubungan faktor formasi dan porositas	52
Gambar 4.12 Grafik hubungan faktor formasi dan porositas tanah SP	53
Gambar 4.13 Tanah SW Padat 1 kering	55
Gambar 4.14 Tanah SW Padat 2 kering	55
Gambar 4.15 Tanah SW Padat 3 kering	56
Gambar 4.16 Tanah SW Padat 1 basah	56
Gambar 4.17 Tanah SW padat 2 basah	57
Gambar 4.18 Tanah SW Padat 3 basah	57
Gambar 4.19 Tanah SP Padat 1 kering	58
Gambar 4.20 Tanah SP Padat 2 kering	58
Gambar 4.21 Tanah SP Padat 3 kering	58
Gambar 4.22 Tanah SP Padat 1 basah	59
Gambar 4.23 Tanah SP padat 2 basah	59
Gambar 4.24 Tanah SP padat 3 basah	59



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Konduktivitas larutan NaCl	30
Tabel 4.2 Data test volgraf	31
Tabel 4.3 Data sampel tanah 1	32
Tabel 4.4 Data sampel tanah 2	33
Tabel 4.5 Porositas tanah SW	35
Tabel 4.6 Porositas tanah SP	35
Tabel 4.7 Resistansi tanah SW	36
Tabel 4.8 Resistansi tanah SP	37
Tabel 4.9 Resistivitas tanah SW	38
Tabel 4.10 Resistivitas tanah SP	39
Tabel 4.11 Konduktivitas jenis tanah SW	40
Tabel 4.12 konduktivitas jenis tanah SP	41
Tabel 4.13 Nilai faktor formasi dan konduktivitas permukaan sampel	51
Tabel 4.14 Nilai faktor formasi dan porositas tanah SW	52
Tabel 4.15 Nilai faktor formasi dan porositas tanah SP	53

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konduksi listrik dalam larutan elektrolit, tanah yang lembab, dan air yang terdapat dalam batuan adalah hasil dari pergerakan ion-ion. Resistivitas adalah salah satu dari sifat dasar material untuk menghambat laju pergerakan ion-ion. Untuk tanah, resistivitasnya dipengaruhi oleh banyak faktor seperti porositas, resistivitas cairan pengisi pori, komposisi tanah, derajat kejenuhan, dan faktor formasinya.

Geometri dari pori atau ruang dalam batuan yang terhubung menentukan pola konduktifitas, ini termasuk sifat-sifat geometri dalam batuan seperti faktor formasi dan konduktivitas permukaan. Kontribusi dari komponen konduktifitas batuan ini berbanding lurus dengan konduktivitas elektrolit. Analisa dari hubungan ini dapat dinyatakan dalam persamaan Archie.

Dengan mengukur resistivitas batuan yang berupa tanah pasir dalam sebuah tabung dalam kondisi tersaturasi penuh dengan menggunakan Automatic RCL meter diharapkan dapat diketahui faktor formasi dan konduktivitas permukaan dari tanah pasir tersebut untuk lebih memahami sifat-sifat kelistrikan dari batuan sebagai dasar dalam penelitian yang lebih lanjut.

1.2 Perumusan Masalah

Nilai resistivitas tanah dan batuan memiliki kisaran yang sangat besar yang disebabkan oleh berbagai faktor yang terdapat dalam tanah atau batuan tersebut. Salah satu faktor yang sangat berperan adalah pola geometri pori yang terdapat

dalam tanah atau batuan tersebut. Pola geometri ini menentukan bagaimana suatu aliran listrik akan mengalir di dalam tanah atau batuan. Faktor ini disebut Faktor Formasi dan Konduktivitas Permukaan tanah atau batuan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui resistivitas pasir SP dan SW sebagai fungsi dari resistivitas fluida.
2. Menentukan faktor formasi.
3. Menentukan konduktivitas permukaan.

1.4 Batasan Permasalahan

- Jenis tanah yang digunakan dalam sistem klasifikasi tanah menurut USCS (*United Soil Classification System*).
- Resistivitas tanah diukur dalam laboratorium sebagai fungsi dari konduktivitas larutan yang digunakan dan kepadatan tanah.
- Sampel tanah dalam keadaan tersaturasi penuh
- Temperatur yang digunakan ialah pada suhu kamar.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima buah bab yang masing-masing bab itu adalah:

BAB I Pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, tujuan, dan batasan masalah dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka yang menguraikan tentang teori-teori dasar yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III Metodologi yang menjelaskan tentang cara pengambilan data dalam penelitian.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan yang menguraikan tentang cara pengolahan data serta pembahasan untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB V Kesimpulan yang berisi hasil-hasil akhir dan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

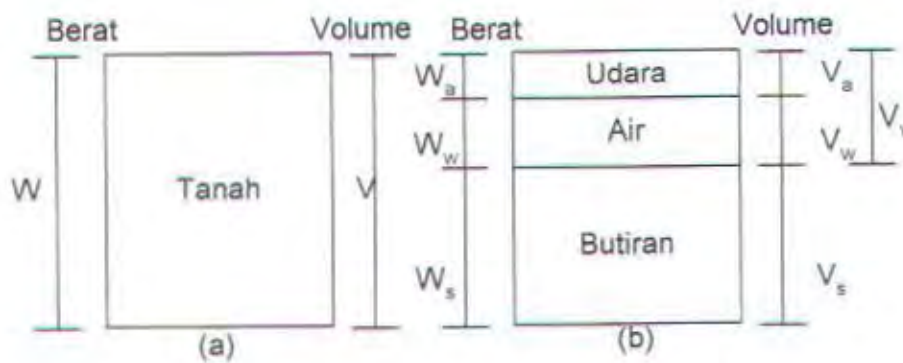
2.1 Tanah

2.1.1 Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai himpunan mineral padat yang relatif lepas (*loose*) yang tidak tersementasi satu sama lain dan bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel tanah. Tanah juga merupakan hasil pelapukan batuan (beku, sedimen dan metamorf) yang mengumpul di tempat asalnya (tanah residu) atau yang terbawa ke tempat lain (tanah terangkut).

2.1.2 Komposisi Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering hanya akan terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat atau butiran, pori-pori udara dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 pada halaman berikut.



Gambar 2.1 a. Elemen tanah pada kondisi alami
b. Diagram blok dari elemen tanah

Gambar 2.1a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W , sedang Gambar 2.1b memperlihatkan hubungan berat dan volumenya. Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut:

$$W = W_s + W_w \quad (2.1)$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (2.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (2.3)$$

dimana: W_s = berat butiran padat (kg)

W_w = berat air (kg)

V = volume total (m^3)

V_s = volume butiran padat (m^3)

V_w = volume air (m^3)

V_a = volume udara (m^3)

Dari volume yang ada dalam tanah tersebut dapat diketahui beberapa sifat-sifat tanah itu sendiri, yaitu:

1. Angka pori / *void ratio* (e) yaitu perbandingan antara volume pori dan butiran.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.4)$$

2. Porositas / *porosity* (n) yaitu perbandingan antara volume pori dengan volume total (sering dinyatakan dalam persen).

$$n = \frac{V_v}{V_s} \times 100\% \quad (2.5)$$

3. Derajat kejenuhan / *degree of saturation* (S_r) yaitu perbandingan antara volume air dan volume rongga (sering dinyatakan dalam persen).

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dari perbandingan-perbandingan diatas maka didapatkan hubungan antara angka pori (e) dan porositas (n) sebagai berikut:

$$e = \frac{n}{n-1} \quad \text{dan} \quad n = \frac{e}{1+e}$$

Nilai-nilai porositas dan angka pori pada tiap tanah memiliki nilai yang berbeda-beda berdasarkan material penyusun tanah, air yang terdapat didalamnya, dan distribusi butirannya.

2.1.3 Hubungan Tanah dan Air

Tanah dan air memiliki hubungan berat maupun volume sebagai berikut:

1. Kadar air / *water content* (W_c) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butir tanah dan biasanya dinyatakan dalam persen.

$$W_c = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (2.7)$$

2. Berat volume (γ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat dan volume tanah.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.8)$$

3. Berat volume butir (γ_s) adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume total.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.9)$$

4. Berat volume kering (γ_d) merupakan perbandingan antara berat butir tanah dengan volume total.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.10)$$

5. Spesifik Gravity (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butir tanah dengan berat volume air.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.11)$$

2.1.4 Klasifikasi Tanah

Umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu, seperti untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, penentuan penurunan bangunan, penentuan pondasi bangunan dan lain-lain.

2.1.4.1 Tekstur Tanah

Dalam suatu masa tanah butiran tunggal diberi istilah partikel tanah dan golongan besar partikel tanah diberi istilah fraksi tanah. Terdapat tiga golongan besar partikel tanah, yaitu fraksi lempung (*clay*), debu (*silt*) dan pasir (*sand*). Sedangkan perbandingan antara tiga fraksi diatas disebut tekstur tanah.

Tekstur suatu horison tanah cenderung tidak berubah, perubahan pada suatu lapisan tanah biasanya hanya terjadi pada permukaannya saja, sehingga tekstur tanah digunakan sebagai dasar pengklasifikasian tanah. Nama kelas tekstur tanah pada umumnya diambil dari fraksi yang sebagian besar dikandung masa tanah tersebut jika campuran partikel lain dapat diabaikan karena sedikit. Kelas-kelas tekstur tanah yang dikenal adalah:

- Tanah pasir kasar (*Coarse sand*)
- Tanah pasir (*sand*)
- Tanah pasir halus (*fine sand*)
- Tanah pasir sangat halus (*very fine sand*)
- Tanah debu (*silt*)
- Tanah lempung (*clay*)
- Tanah lempung berat (*heavy clay*)

Dalam banyak masalah teknis pemilihan tanah kedalam kelompok atau sub-kelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini yang disebut klasifikasi.

Klasifikasi tanah adalah cara untuk menentukan jenis tanah sehingga diperoleh gambaran sepintas tentang sifat-sifat tanah. Sistem klasifikasi yang ada, antara lain:

1. Sistem internasional yang pertama kali diusulkan oleh Atterberg (1932).
2. Sistem USDA yang disusun oleh "United States Department of Agriculture" dan digunakan diseluruh dunia.

Sekarang terdapat dua sistem klasifikasi yang dapat digunakan. Keduanya adalah USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir.

2.1.4.2 Klasifikasi Tanah Menurut USCS

Dalam mendapatkan hasil klasifikasi tanah yang obyektif maka biasanya tanah secara sepiantas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu hasil analisa mekanis. Ada dua cara yang paling umum untuk menentukan klasifikasi tanah yaitu:

1. Cara AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) dikembangkan pada tahun 1927-1929.
2. Cara USCS. (yang digunakan sebagai sampel untuk pengambilan data) mulai diperkenalkan pada tahun 1942.

Sistem USCS ini diusulkan oleh Prof. Arthur Cassagrande berdasarkan sifat tekstur tanah. Sistem ini membagi tanah dalam dua kelompok, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar, yaitu tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan no. 200 (ukuran lubang ayakan 0.075 mm) kurang dari 50%.
2. Tanah berbutir halus, yaitu tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan no. 200 (ukuran lubang ayakan 0.075 mm) kurang dari 50%.

Tanah berbutir kasar dan halus diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang dinyatakan dalam simbol-simbol tertentu yaitu:

a. Simbol Komponen

Simbol ini berdasarkan komponen yang paling banyak menyusun tanah tersebut.

1. Kerikil / *Gravel* dengan simbol G
2. Pasir / *Sand* dengan simbol S
3. Lanau / *Mo* dengan simbol M
4. Lempung / *Clay* dengan simbol C
5. Organik / *Organic* dengan simbol O
6. Humus / *Peat* dengan simbol Pt

b. Simbol Gradasi

Simbol ini menyatakan distribusi butir komponen-komponen penyusun tanah.

1. Bergradasi baik / well graded (W)
2. Bergradasi buruk / poorly graded (P)

c. Simbol batas cair

Simbol ini menunjukkan persentase kadar air yang terdapat dalam tanah.

1. Tinggi / high (H)
2. Rendah / low (L)

Tanah berbutir kasar dibagi lagi atas:

1. Kerikil dan tanah kerikilan (G), dengan prosentase lolos ayakan no.4 (diameter lubang saringan 4,76 mm) kurang dari 50%.
2. Pasir dan tanah pasir (S), dengan prosentase lolos ayakan no. 4 (diameter lubang saringan 4,76 mm) lebih dari 50%.

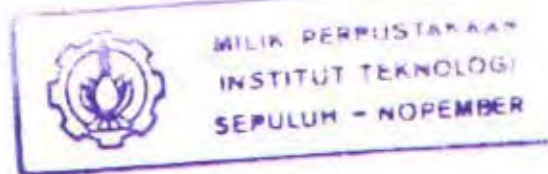
Baik kerikil maupun pasir dibagi lagi dalam empat kelompok:

1. Kelompok GW dan SW: tanah kerikilan dan pasir yang bergradasi baik dengan butiran halus yang sedikit atau tanpa butiran halus yang non plastis (lolos saringan no. 200 kurang dari 5%).
2. Kelompok GP dan SP: tanah kerikilan dan pasir yang bergradasi buruk dengan butiran halus sedikit.
3. Kelompok GM dan SM: mencakup tanah kerikil atau pasir lanauan (lolos saringan no. 200 lebih dari 12%).
4. Kelompok GC dan SC: mencakup tanah kerikilan atau pasir dengan butiran halus (lolos saringan no. 200 lebih kecil dari 12%) dan lebih bersifat lempung.

2.1.4.3 Metode Mengklasifikasi Tanah

Metode yang digunakan dalam mengklasifikasi tanah pada umumnya ada dua, yaitu:

- Analisa Ayakan
- Analisa Hidrometer



Analisa ayakan digunakan apabila tanah yang diuji terdiri dari butiran tanah yang besar seperti kerikil, pasir dan lanau. Untuk analisa ini digunakan ayakan-ayakan tertentu yang telah diberi nomor sesuai dengan diameter lubang ayakannya.

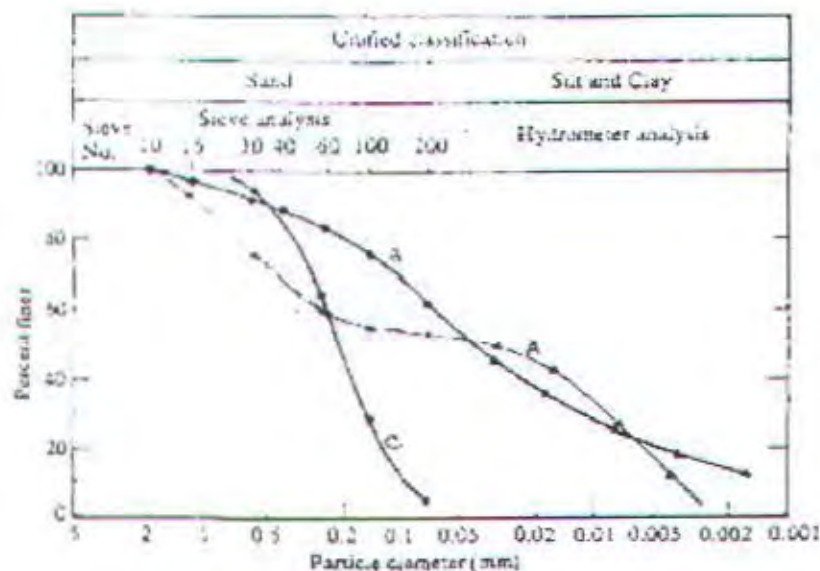
Analisa hidrometer digunakan apabila tanahnya merupakan tanah berbutir halus seperti lempung. Analisa ini didasarkan atas prinsip sedimentasi dari butir-butir tanah dalam air. Saat tanah dikocok dalam air kemudian didiamkan maka butir-butir tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada

bentuk, ukuran dan berat dari butiran-butiran tanah. Butiran dengan ukuran besar akan mengendap lebih cepat daripada butiran dengan ukuran kecil.

2.1.4.3 Grafik Distribusi Ukuran Butiran

Hasil dari kedua test (ayakan dan hidrometer) digambarkan pada kertas semi log, bentuk dari grafik-grafik tersebut biasanya digolongkan dalam tiga kelompok yaitu:

1. Gap graded (kurva A): tanah dimana satu atau lebih ukuran butirnya tidak ada.
2. Well Graded (kurva B): tanah dimana ukuran butir-butirnya terbagi merata dalam satu batasan yang luas.
3. Poorly/uniform graded (kurva C): tanah yang mempunyai ukuran butir hampir sama (hanya terdiri dari satu atau dua ukuran butir).



Gambar 2.2. Kurva distribusi ukuran partikel

Dari kurva tersebut dapat ditentukan tiga parameter tanah yang dapat digunakan untuk mengklasifikasi tanah. Ketiga parameter tersebut ialah:

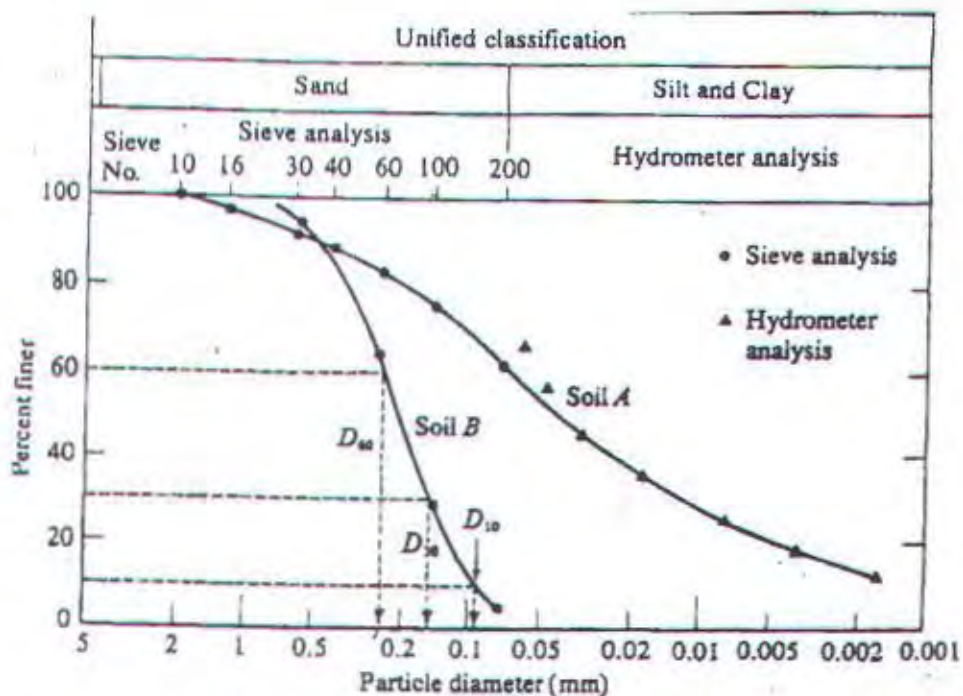
1. Ukuran Efektif

- D_{10} merupakan diameter tanah dimana 10% dari total butiran lolos.
- D_{30} merupakan diameter tanah dimana 30% dari total butiran lolos.
- D_{60} merupakan diameter tanah dimana 60% dari total butiran lolos.

2. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

Cara menentukan harga-harga dari D_{10} , D_{30} , D_{60} dapat dilihat dalam Gambar 2.3 dibawa ini:



Gambar 2.3 Cara menentukan harga parameter

Berdasarkan ketiga parameter tersebut maka klasifikasi tanah menurut USCS dapat dituliskan sebagai berikut:

➤ Gravel/kerikil: bila lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan no.4 (diameter lubang saringan 4,76 mm), selanjutnya dibagi lagi menjadi beberapa kelompok yaitu:

- Kerikil bergradasi baik / *Well graded gravel* (GW): bila butiran yang lolos pada ayakan no.200 (ukuran lubang ayakan 0.075 mm) kurang dari 5% serta memiliki nilai parameter $C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3$
- Kerikil bergradasi buruk / *Poorly graded gravel* (GP): bila butiran yang lolos pada ayakan no.200 kurang dari 5% serta memiliki nilai parameter $C_u < 4$ atau $1 > C_c > 3$.

➤ Pasir / *Sand* bila kurang dari 50% butiran tertahan pada ayakan no.4 (diameter lubang saringan 4,76 mm), selanjutnya dibagi lagi menjadi beberapa kelompok yaitu:

- Pasir bergradasi baik / *Well graded sand* (SW): bila butiran yang lolos pada ayakan no.200 kurang dari 5% memiliki nilai parameter $C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3$.
- Pasir bergradasi buruk / *Poorly graded sand* (SP): bila butiran lolos pada ayakan no.200 kurang dari 5% serta memiliki nilai parameter $C_u < 6$ atau $1 > C_c > 3$.

Simbol klasifikasi ganda dapat digunakan, seperti, GW-SW, tetapi hal ini tidak diikutsertakan dalam klasifikasi awalnya untuk membuat sistem tersebut sesederhana mungkin.

2.2 Resistivitas

Resistivitas adalah suatu sifat materi yang menghambat aliran listrik yang melaluinya. Sifat resistivitas ini pada batuan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti mineral penyusun batuan, konduktifitas larutan yang mengisi pori dan pola geometrinya.

2.2.1 Sifat Kelistrikan Batuan

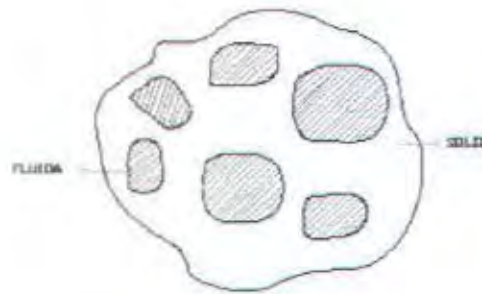
Batuan merupakan materi yang mempunyai sifat-sifat kelistrikan. Sifat listrik batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat terjadi ketidakseimbangan antara komponen-komponennya atau arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya. Dalam hal ini akan dipelajari tentang potensial listrik alam dari batuan dan konduktivitas batuan.

2.2.2 Potensial Listrik Batuan

Potensial listrik alam atau potensial diri disebabkan karena terjadinya kegiatan elektrokimia atau kegiatan mekanik. Faktor pengontrol dari semua kejadian ini adalah air tanah. Potensial ini berasosiasi dengan pelapukan mineral pada batuan, perbedaan sifat batuan (kandungan mineral) pada kontak geologi kegiatan bioelektrik dari materi organik korosi, gradien termal dan gradien tekanan. Potensial alam ini dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu:

1. Potensial elektrokinetik

Potensial ini disebabkan bila suatu larutan bergerak melalui suatu pipa kapiler atau medium yang berpori.



Gambar 2.4. Mekanisme potensial elektrokinetis

Fluida dalam batuan memiliki ρ (resistifitas) dan η (viskousitas). Semakin besar viskositasnya maka semakin besar resistivitasnya, maka kemampuan untuk menyimpan energi listrik semakin kecil. Karena ada perbedaan tekanan menyebabkan fluida bermuatan didalam batuan bergerak-gerak dan memiliki dielektrisitas.

2. Potensial difusi

Potensial ini disebabkan terjadinya perbedaan mobilitas dari ion dalam larutan yang mempunyai konsentrasi berbeda.

3. Potensial nerust

Potensial yang timbul bila suatu elektroda dimasukkan kedalam larutan homogen.

4. Potensial mineralisasi

Potensial ini timbul bila dua elektroda logam dimasukkan ke dalam larutan homogen. Harga potensial ini paling besar bila dibandingkan dengan jenis potensial lainnya. Biasanya potensial ini timbul pada zona yang mengandung banyak sulfida, grafit dan magnetik.

2.2.3 Sifat Tahanan Jenis Batuan Berpori

Tahanan listrik pada batuan berpori yang terukur merupakan tahanan listrik gabungan (tahanan listrik pengganti) antara tahanan listrik matriks dan tahanan listrik air pori pada batuan berpori. Konduktivitas batuan sangat dipengaruhi oleh konduktivitas larutan elektrolit yang mengisi porinya. Konduktivitas dari matrik padat batuan hampir sama pada sebagian besar kasus kecuali jika batuan tersebut kaya akan pori yang tidak tersementasi.

Pori yang terisi oleh air secara alami akan mengandung anion dan kation dari garam yang terlarut. Larutan ini dapat menyumbangkan konduktivitas pada batuan dengan dua cara:

1. Dengan konduktivitas elektrolit intrinsiknya. Geometri dari pori atau ruang patahan dalam batuan yang terhubung menentukan geometri pola konduktivitas, ini termasuk sifat-sifat geometri pori seperti porositas dan faktor formasi. Kontribusi dari komponen konduktivitas batuan ini berbanding lurus dengan konduktivitas elektrolit. Analisa dari hubungan ini adalah subyek dari persamaan Archie.
2. Dengan interaksi elektrokimia dengan matrik padat pada pola antarmuka fluida-padat. Geometri dari pola konduktivitas untuk permasalahan ini digambarkan dengan sifat-sifat permukaan internal. Antarmuka atau konduktivitas yang berlebih ini dapat dianggap secara praktis bebas dari konduktivitas elektrolit. Hubungan yang menyatakan fenomena konduktivitas antarmuka ini dinyatakan oleh Waxman dan Smits (1968) dan Rink dan Schopper (1974).

Kita sering menemukan permasalahan suatu komponen konduktivitas elektrolitis yang dominan dalam batuan porus yang sangat bersih (bebas dari lumpur dan shale). Kecenderungan ini secara empiris digambarkan oleh persamaan Archie.

Keberadaan dari komponen konduksi yang kedua pertama kali dideteksi dalam pasir serpih. Deskripsinya diberikan oleh model pasir serpih yang berbeda dihubungkan dengan jenis distribusi lumpur diantara batuan.

Juga dalam pasir dan batuan pasir, komponen kedua dari konduktivitas antarmuka sebagian dideteksi pada air pori yang konduktivitasnya rendah. Penelitian dari fenomena ini menghasilkan suatu pengertian yang lebih dalam mengenai geometri pori. Penelitian tentang sifat-sifat antarmuka menunjukkan bahwa antarmuka berperilaku sebagai konduktor dan kapasitor. Hal ini membawa pada karakter yang kompleks dari sifat-sifat elektris yang berhubungan dengan antarmuka.

Hubungan antara tahanan listrik dengan porositas batuan pada batuan sedimen (pasir dan batu gamping berpori, lempung) pertama kali diusulkan oleh Archie (1942). Archie sampai kepada persamaan empiris ini berdasarkan pengamatan bahwa tahanan jenis batuan (ρ_0) yang diisi oleh air asin adalah berbanding lurus dengan tahanan jenis air asin (ρ_w) yang mengisi pori, bahwa ρ_0/ρ_w , dimana tahanan jenis matrik direfleksikan oleh Faktor Formasi (F). Dia mengusulkan dua persamaan empiris yaitu: Persamaan Archie I dan II. **Persamaan Archie I** (persamaan empiris yang menyangkut hubungan antara tahanan jenis batuan dengan porositas batuan yang terisi penuh oleh air pori) adalah sebagai berikut:

$$\rho_0 = F \cdot \rho_w \quad (2.13)$$

Faktor formasi menyatakan magnifikasi resistivitas yang berhubungan dengan air laut sebagai hasil dari adanya matrik non-konduktif. Oleh karenanya, hal

ini menunjukkan hubungan dengan porositas. Grafik dari logaritma faktor formasi F sebagai fungsi dari porositas ϕ menghasilkan suatu garis yang hampir lurus dengan kemiringan m . Sehingga didapatkan bahwa:

$$\log F = -m \cdot \log \phi \quad (2.14)$$

atau **Persamaan Archie-1**

$$\rho_b = \rho_w a \phi^{-m} \quad (2.15)$$

- dimana:
- ρ_b = tahanan jenis batuan yang terukur (Ωm)
 - ρ_w = tahanan jenis air pengisi pori yang diukur dari air formasi atau dihitung (Ωm)
 - a = konstanta yang mencirikan karakter sementasi
 - ϕ = porositas batuan
 - m = koefisien sementasi yang merupakan nilai empiris

Faktor formasi (F) merupakan ciri hubungan didalam batuan sedimen antara lain: mariks sementasi dan porositas, Archie mendapatkan untuk batu pasir tidak terkonsolidasi harga a berkisar dari 1 sampai 1,3, dan batuan pasir yang terkonsolidasi harga $a = 1,8 - 2,0$, Faktor sementasi m dikelompokkan sebagai berikut:

Untuk batuan pasir tidak terkondolidasi	$m = 1,3$
Batuan pasir sangat sedikit terkonsolidasi	$m = 1,4 - 1,5$
Batuan pasir agak terkonsolidasi	$m = 1,5 - 1,7$
Batuan pasir separuh terkonsolidasi	$m = 1,8 - 1,9$
Batuan pasir sangat terkonsolidasi	$m = 2,0 - 2,2$

Untuk menghitung a , m , dan faktor formasi suatu daerah dilakukan dengan mengamati besarnya F dan porositas dan memasukkan kepada persamaan (2.14) yang telah diambil logaritmanya akan didapat:

$$\text{Log } F = \log a - m \log \phi \quad (2.16)$$

Dimana $\log F$ adalah variabel tergantung $\log a$ adalah konstanta, $\log \phi$ adalah variabel bebas dengan demikian dapat dibuat hubungan linier antara $\log F$ dan $\log \phi$, dimana harga a dan m dapat ditentukan dari perhitungan.

Pentingnya dari persamaan Archie dihasilkan dari kenyataan bahwa persamaan ini memberikan hubungan praktikal yang pertama antara sifat yang terukur (resistivitas) dan sifat *reservoir* yang penting (porositas).

Pada sejarahnya eksplorasi minyak bumi persamaan Archie adalah persamaan yang pertama kali digunakan untuk "menentukan" porositas batuan "*reservoir*". Setelah itu banyak metoda lain dikembangkan seperti analisa dari sonik gama, *density log* dan lain-lain. Humble de Winsuer (1957), menggunakan $a = 0,62$, $m = 2,15$, Porter dan Careteur (1971) yang mengukur hubungan faktor formasi, porositas untuk batu pasir dari umur yang berbeda-beda, dia mendapatkan untuk data di Gulf Coast (1720 data) bahwa $a = 1,97$, $m = 1,29$. Untuk batu pasir Pliosen (2-3 juta tahun yang lalu) dari California (1575 data) bahwa $a = 2,45$, $m = -1,08$. Dari persamaan empiris diatas terlihat bahwa konstanta a dan m , F merupakan konstanta yang ditentukan oleh tekstur bentuk geometri pori. Daveton (1980) membandingkan antara struktur lapisan dengan nilai m , untuk contoh batuan lubang bor bahwa "*ripper bedded zone*" mempunyai nilai m yang lebih tinggi yaitu $m = 2,2$ daripada "*cross bedded zone*" yang mempunyai $m = 2,0$. dia juga mengamati bahwa " m "

bertambah dari 1,6 menuju ke $m = 1,9$ akibat perubahan dari batu pasir kasar yang “*cross stratified*”, menjadi batu pasir halus sampai lanau bertekstur “*ripple*”.

Pengaruh Kepadatan

Jika saluran-saluran konduktivitas pada pori terdeformasi oleh tekanan, konduktivitas batuan akan menurun (resistivitas meningkat) dan, oleh karenanya, faktor formasi meningkat.

Konduktivitas batuan menurun secara non-linier dengan meningkatnya tekanan. Faktor formasi juga meningkat secara non linier sebagai fungsi dari tekanan. Peningkatan yang non-linier dari F dengan meningkatnya tekanan dihasilkan dari sifat-sifat non-linier stress-strain dari batuan yang berhubungan dengan ukuran pori dan perubahan lika-liku pori (*tortuosity*).

Untuk mendapatkan garis yang linier maka dinyatakan hubungan sebagai berikut:

$$\log F \approx \log p \text{ atau } F \sim p^g \quad (2.16)$$

dengan: g = eksponen tekanan (kemiringan dari garis lurus)

Palmer dan Pallat (1991) menganalisa hubungan antara faktor formasi sebagai fungsi dari tekanan untuk sampel batuan reservoir dari North Sea dan Alaska. Hasilnya menunjukkan suatu hubungan linier. Mereka memplot data eksperimen dengan persamaan yang menghubungkan faktor formasi yang sesungguhnya F_p yang dinormalisasi nilainya oleh suatu tekanan sebesar 400 Psi F_{400} dan logaritma dari tekanan adalah:

$$\frac{F_p}{F_{400}} = a + b \cdot \log p \quad (2.17)$$

dimana a dan b ditentukan secara empiris. Sehingga hubungan empiris Archie utamanya ditujukan untuk batuan *reservoir*, tetapi juga dapat diaplikasikan pada batuan yang terdeformasi oleh tekanan.

2.3 Konduktivitas listrik batuan

Konduktivitas dari batuan yang memiliki air pori sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat dari air pori tersebut, yang merupakan larutan elektrolit. Konduktivitas dari matriks padat dapat diabaikan dalam banyak kasus, kecuali jika terdapat lapisan biji besi (*ores*), banyak mengandung *ores* atau grafit.

Pada batuan, atom-atom dapat terikat secara ionik atau kovalen. Karena adanya ikatan ini maka batuan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Aliran arus listrik di dalam batuan, dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu:

1. Konduksi elektronik

Konduksi ini adalah tipe normal dari aliran arus listrik dalam batuan atau mineral tersebut mempunyai banyak elektron bebas. Akibatnya arus listrik mudah mengalir pada batuan ini. Sebagai contoh, batuan yang banyak mengandung logam (tembaga dan grafit).

2. Konduksi elektrolitik

Konduksi jenis ini banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat porus dan pada pori-pori tersebut terisi oleh larutan elektrolit. Muatan listrik mengalir sebagai ion-ion larutan elektrolit melalui kisi kristal (Keller, 1989). Konduksi dengan cara ini lebih lambat daripada konduksi elektronik karena pengaruh suhu pada konduksi ini lebih kecil bila dibandingkan dengan konduksi elektronik.

3. Konduksi dielektrik

Konduksi ini terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik, artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit bahkan tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar, maka elektron-elektron dalam atom batuan dipaksa berpindah dan berkumpul terpisah dengan intinya sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini sangat bergantung pada konstanta dielektrik batuan yang bersangkutan.

Konduktivitas batuan berpori bervariasi tergantung pada volume, susunan pori (Faktor Formasi) dan kandungan air didalamnya. Di samping itu konduktivitas batuan juga tergantung pada koefisien anisotrop batuan itu sendiri. Dalam hal ini, batuan isotrop adalah batuan yang dapat mengalirkan arus listrik ke segala arah sama besarnya.

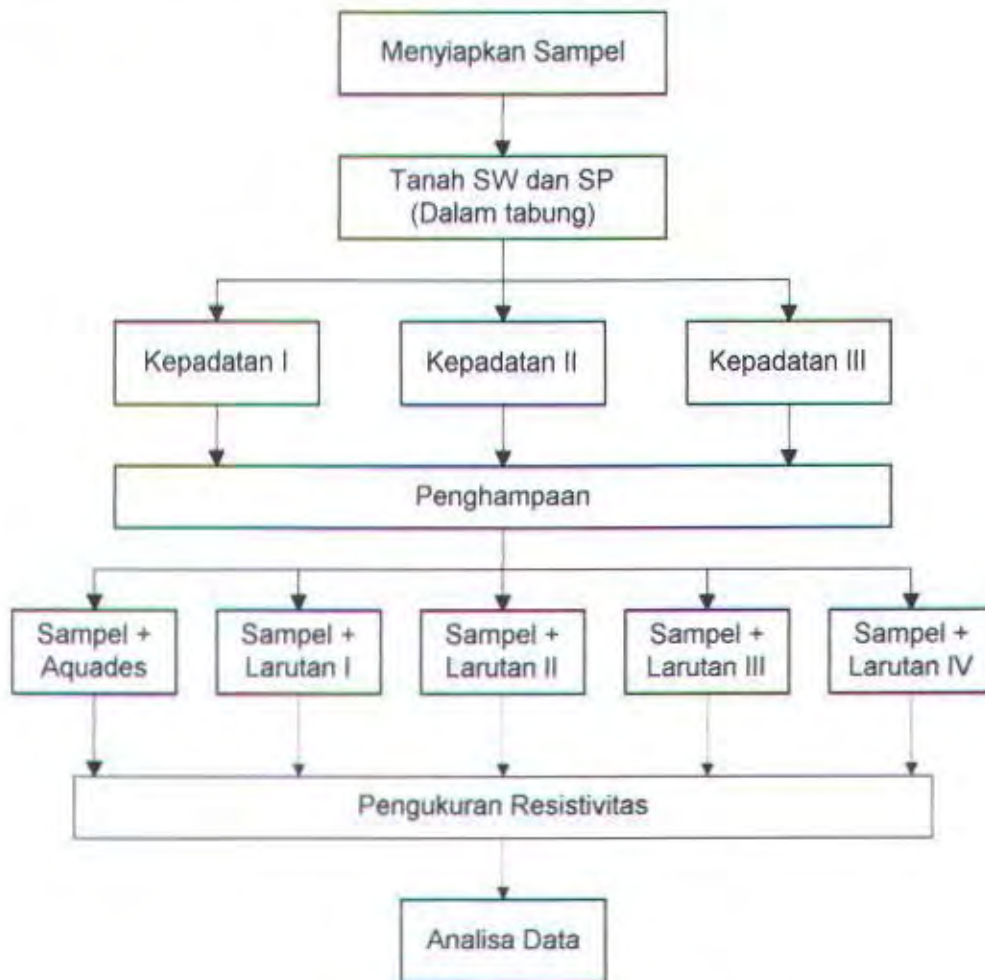
BAB III
METODOLOGI

BAB III METODOLOGI



3.1 Diagram Alir Pengambilan Data

Pengambilan data yang bertujuan untuk memenuhi tujuan tugas akhir dilakukan sesuai dengan diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir pengambilan data

3.2 Pembuatan Sampel Tanah dan Test Analisa Ayakan

Test analisa ayakan ini digunakan karena tanah yang akan dibuat sampel merupakan tanah berbutir kasar. Cara melakukan analisa ayakan ialah sebagai berikut:

1. Tanah dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam.
2. Meratakan bongkahan-bongkahan tanah.
3. Tanah yang sudah terpisah butir-butirnya diletakkan dalam ayakan yang sudah ditumpuk dengan urutan nomor ayakan ialah nomor 3/4, 3/8, 4, 8, 16, 40, 100, dan 200 (ukuran diameter lubang dari masing-masing ayakan tercantum dalam Lampiran 2). Lengser diletakkan dibawah ayakan no. 200 untuk menampung butir-butir tanah yang lolos lewat ayakan no. 200.
4. Tanah yang tertahan dalam masing-masing ayakan dipisahkan dalam wadah tersendiri.
5. Semua tanah yang tertahan dalam masing-masing ayakan dipisahkan dalam wadah tersendiri.
6. Membuat kurva grafik semi log untuk menentukan komposisi campuran tanah sehingga diperoleh jenis tanah yang diinginkan, yaitu SW dan SP (kriteria untuk tanah SW dan SP tercantum dalam Lampiran 4).

3.3 Menentukan Spesifik Gravity dan Indeks Properti Tanah

Spesific gravity dari suatu tanah adalah *spesific gravity* butir-butir tanah termasuk air dan udara yang terkandung di dalam tanah tersebut. Urutan pelaksanaan uji untuk menentukan *spesific gravity* adalah sebagai berikut:

1. Piknometer dibersihkan dan dikeringkan kemudian diisi dengan air suling sebanyak 500 ml.
2. Piknometer beserta air didalamnya ditimbang (W_1).
3. Temperatur air di dalam piknometer diukur dengan cara memasukkan termometer kedalamnya (T_1).
4. Siapkan tanah yang akan diuji dalam keadaan kering (dikeringkan didalam oven yang bersuhu sekitar 60° selama 24 jam) sebanyak wadah yang telah ditentukan kemudian ditimbang (W_1).
5. Piknometer dibersihkan dan dikeringkan kemudian masukkan tanah yang akan diuji kedalamnya.
6. Masukkan air suling ke dalam piknometer yang berisi tanah sampai batas yang terdapat pada piknometer.
7. Diamkan piknometer yang berisi air suling dan tanah selama kira-kira satu hari.
8. Menghilangkan udara dari campuran tanah dan air pada piknometer dengan menghubungkan mulut piknometer dengan pompa vakum dengan tujuan menarik gelembung-gelembung udara dari dalam campuran tanah dan air sampai tidak ada gelembung udara yang tertinggal.
9. Tambahkan air suling kedalam piknometer sampai volumenya tepat 500 ml, keringkan bagian luar piknometer dan leher bagian dalam kemudian ditimbang (W_2).
10. Mengukur temperatur dari campuran air dan tanah dalam piknometer (dengan batas toleransi ialah kurang satu $^{\circ}\text{C}$ dari T_1).

Selanjutnya dapat dihitung nilai *specific gravity* tanah yang diuji dengan menggunakan persamaan berikut:

$$G_s = \frac{\text{berat tanah kering}}{\text{berat air yang mempunyai volume sama dengan butir-butir tanah}}$$

atau
$$G_s = \frac{W_3}{(W_1 + W_3) - W_2}$$

dengan: W_1 = berat piknometer + air suling

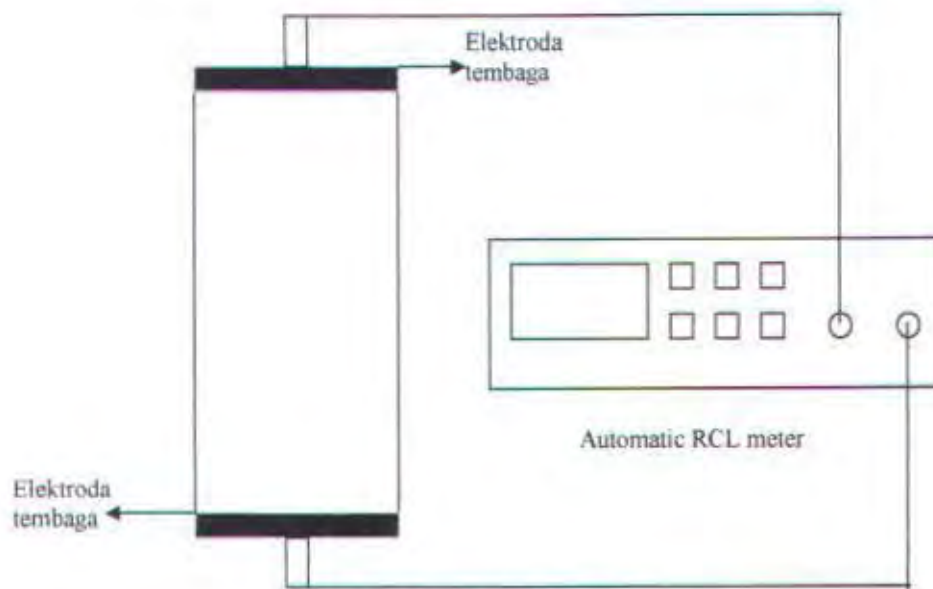
W_2 = berat piknometer + air suling + tanah

W_3 = berat tanah kering

Menentukan *specific gravity* dari suatu jenis tanah harus dilakukan paling sedikit dua kali dan perbedaan hasil dari keduanya tidak boleh lebih dari dua sampai tiga persen, setelah itu hasil keduanya dirata-rata untuk mendapatkan nilai *specific gravity* tanah yang diuji.

3.3 Mengukur Resistivitas Tanah dalam Laboratorium

Alat yang digunakan untuk mengukur resistivitas batuan/tanah pasiran adalah Automatic RCL meter. Sebelum diukur dengan menggunakan Automatic RCL meter, sampel batuan yang akan diukur dimasukkan kedalam tabung elektroda yang dirancang dengan menggunakan bahan non-konduktif (plastik PVC) berbentuk silinder dengan diameter 3 cm dan panjang 10 cm. Tanah sampel dimasukkan kedalam tabung yang memiliki elektroda tembaga di bagian ujung-ujungnya. Adapun gambar dari setting alat pengukuran adalah seperti Gambar 3.1 pada halaman berikut.



Gb. 3.2 Rangkaian alat Pengukuran

Sebelum diukur tanah yang dimasukkan kedalam sampel dipadatkan sesuai kepadatan yang telah ditentukan (terdapat tiga kepadatan) kemudian tabung ditutup dan dihampakan dengan menggunakan pompa vakum. Penghampaan ini bertujuan untuk menghilangkan udara yang terjebak dalam pori-pori tanah. Setelah itu larutan elektrolit dimasukkan kedalam tabung hingga sampel di dalam tabung tersaturasi penuh. Setelah itu diukur resistivitasnya dengan menggunakan Automatic RCL Meter.

3.4 Pengolahan Data

Data hasil pengukuran dengan Automatic RCL meter adalah tahanan batuan R (Ω), dan data-data komposisi sampel dan tanah. Selanjutnya dilakukan perhitungan harga tahanan jenis, konduktivitas jenis dan porositas dari masing-masing sampel. Setelah didapatkan data konduktivitas larutan dan konduktivitas jenis dari batuan maka dilakukan pemodelan data dengan inversi metode Least Square.

Pertama-tama data penelitian dinyatakan dalam matrik berikut:

$$d = G m$$

dimana, d = data hasil percobaan

G = matriks kernel yang berisi data yang telah diketahui

m = parameter model yang akan ditentukan

Dari data yang diperoleh, didapatkan matrik kernel untuk permodelan adalah matrik 5×2 yang jika diinvers secara langsung memiliki nilai yang tidak eksak, maka penyelesaiannya dilakukan dengan menggunakan pendekatan. Karena persamaan yang kita dapatkan adalah suatu permasalahan untuk garis lurus maka digunakan metode Least Square. Sehingga dapat dicari nilai m^{est} melalui persamaan:

$$m^{est} = [G^T G]^{-1} G^T d$$

dimana m^{est} adalah parameter model yang kita cari. Dan untuk mengetahui apakah hasil perhitungan tersebut mendekati nilai yang sesungguhnya dinyatakan dengan faktor korelasi antara parameter model dengan data hasil penelitian.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Asal Tanah dan Kandungan Air

Tanah pasir yang digunakan pada tugas akhir ini adalah tanah pasir yang terdapat di daerah aliran sungai Brantas. Tanah pasir sungai Brantas merupakan endapan pasir yang berasal dari aktivitas gunung berapi yaitu Gunung Kelud, sehingga secara geologis pasir sungai Brantas merupakan butiran batuan beku andesit.

Ciri umum batuan andesit, yaitu : berwarna abu-abu, bersifat keras dan kompak. Batuan andesit tersusun oleh mineral Plagioclase 40-50%, mineral Ferromagnesian 20-40% dan mineral-mineral lainnya.

Tabel 4.1 Konduktivitas larutan NaCl

No.	gr dlm 1 l aquades	Suhu (°C)	Konduk. jenis (mS/cm)	Konduk. jenis (S/m)	Hambatan jenis (Ω/m)
1	0	27	0,0226	0,00226	442,4779
2	3	25	6,3	0,63	1,587302
3	20	25,5	38,1	3,81	0,262467
4	50	25,9	82,8	8,28	0,120773
5	100	25,9	134,4	13,44	0,074405

Kandungan air yang digunakan dalam tugas akhir ini ada lima jenis, yaitu : larutan NaCl 0 gr, 3 gr, 20 gr, 50 gr, dan 100 gr dalam 1 liter pelarut. NaCl yang dilarutkan adalah NaCl murni dengan kemurnian 99,99% dan pelarutnya digunakan

aquades. Nilai konduktivitas larutan diatas diukur di laboratorium dan hasilnya seperti dalam Tabel 4.1 diatas.

4.1.2 Penentuan Spesific Gravity Tanah

Pada penentuan spesifik gravity tanah dilakukan uji Volgraf yang langkah-langkahnya seperti tercantum dalam metodologi penelitian (Lihat Bab 3). Hasil dari uji volgraf tercantum dalam Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Data tes volgraf

Obyek yang Ditimbang		SW	SP
No. Piknometer		23	62
Berat piknometer	gr	85	126
Berat pikno + aquades	gr	351,4	373,3
Berat pikno + tanah kering	gr	114	154,6
Berat pikno + tanah + air	gr	351,5	392
Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) T	$^{\circ}\text{C}$	29	29
Berat air	gr	226,4	247,3
Berat air + Piknometer (tanah+air)	gr	577,9	639,3
Berat tanah kering	gr	29	28,6
Spesific gravity Gs		2.8	2.8

Pada pembuatan sampel tanah disiapkan dua macam jenis tanah yang merupakan campuran dari berbagai ukuran butir tanah hasil ayakan dengan komposisi dan prosentase yang berbeda-beda, diharapkan campuran tanah tersebut dapat memenuhi jenis tanah yang diuji yaitu :

- Tanah pasir bergradasi baik (SW)
- Tanah pasir bergradasi buruk (SP)

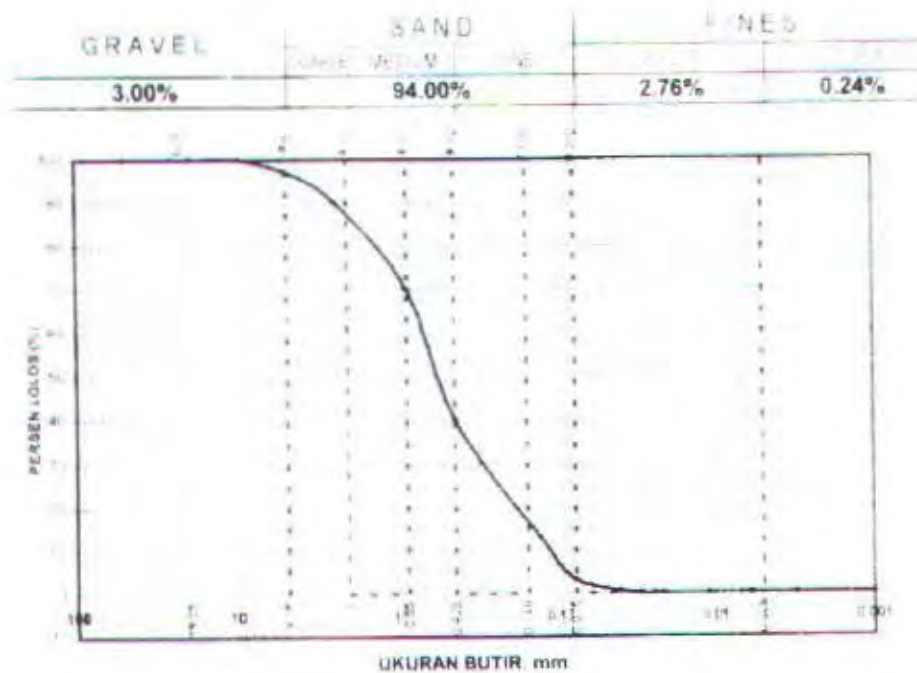
Sebelum mencampur tanah maka ditentukan dahulu kurva distribusi ukuran butir tanah yang akan digunakan, pada kurva tersebut dapat ditentukan parameter D_{10} , D_{30} dan D_{60} kemudian dihitung koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) sehingga dapat ditentukan jenis tanah tersebut sesuai dengan klasifikasi USCS. Setelah komposisi dari tiap jenis tanah diperoleh maka pencampuran tanah dilakukan dengan menimbang berat tiap ukuran butir sesuai dengan komposisi kemudian tiap-tiap ukuran butir tersebut dicampur menjadi sampel tanah yang akan diuji.

Adapun tabel data ayakan dan presentase lolos tiap butir tanah dengan grafik yang menunjukkan kurva distribusi ukuran butir serta nilai parameter dan koefisien dari masing-masing sampel tanah.

Kurva distribusi butiran untuk sampel 1 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data sampel tanah 1

$\phi(\text{mm})$	No Ayakan	% tertahan	% lolos
9.5	3/8	0	100
4.76	4	3	97
2.36	8	7	90
1.18	16	20	70
0.425	40	30	40
0.125	100	27	13
0.07	200	10	3



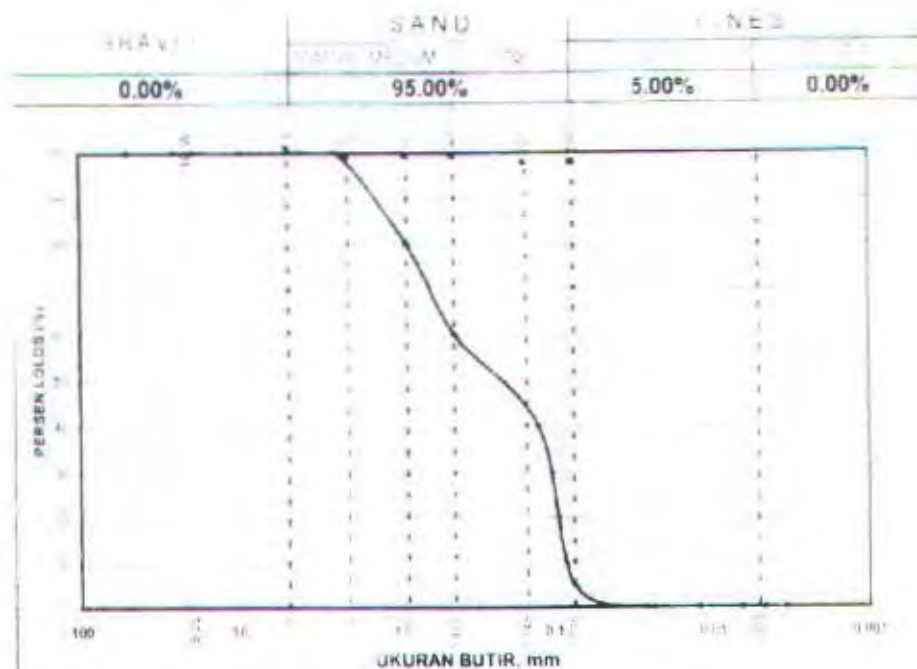
Gambar 4.1 Grafik Distribusi ukuran butir sampel 1

Berdasarkan hasil grafik distribusi pembagian butir maka dapat ditentukan parameter sebagai berikut: $D_{10} = 0,0104167$ mm ; $D_{60} = 0,91575$ mm ; $D_{30} = 0,32$ mm. Selanjutnya dapat dihitung besarnya koefisien keseragaman C_u dan koefisien gradasi (C_c) yaitu: $C_u = 8,791$ dan $C_c = 1,0735$. Hasil klasifikasi sampel tanah I tersebut ialah jenis pasir bergradasi baik (SW).

Kurva distribusi butiran untuk sampel 2 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data sampel tanah 2

Ømm	No	% tertahan	% lolos
4.76	4	0	0
2.36	8	0	100
1.18	19	20	80
0.425	40	20	60
0.125	100	20	40
0.07	200	35	5



Gambar 4.2 Grafik distribusi ukuran butir sampel 2

Berdasarkan hasil grafik distribusi pembagian maka dapat ditentukan parameter sebagai berikut: $D_{10} = 0,0886$; $D_{30} = 0,10679$; $D_{60} = 0,425$. Selanjutnya dapat dihitung besarnya koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) yaitu: $C_u = 8,791$ dan $C_c = 4,7968$

Hasil klasifikasi sampel tanah 2 tersebut ialah pasir bergradasi buruk (SP).

4.1.3 Indeks Properti dari Sampel Tanah

Setelah mengidentifikasi jenis dari masing-masing tanah sampel maka tiap tanah tersebut diukur indeks propertinya. Indeks properti yang diukur adalah porositas dari kepadatan tanah yang digunakan. Adapun kepadatan dari sampel yang digunakan adalah sebagai berikut:

Kepadatan I \rightarrow Berat tanah 192,6 gr

Kepadatan II → Berat tanah 198 gr

Kepadatan III → Berat tanah 203,4 gr

Tanah dengan kepadatan yang berbeda-beda diatas dimasukkan kedalam tabung pipa PVC yang berdimensi sama yaitu panjang 0,1 m dan diameter 0,03 m. Sehingga volume dari tabung adalah $1.075 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

Dengan menggunakan hubungan dari perbandingan yang telah disebutkan dalam tinjauan pustaka maka diperoleh porositas dari masing-masing tabung seperti dicantumkan dalam Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.5 Porositas tanah SW

Kepadatan	1	2	3
Tabung 1	0,37	0,33	0,28
Tabung 2	0,37	0,34	0,29
Tabung 3	0,39	0,31	0,28
Tabung 4	0,33	0,31	0,27
Tabung 5	0,33	0,29	0,26

Tabel 4.6 Porositas tanah SP

Kepadatan	1	2	3
Tabung 1	0,34	0,33	0,29
Tabung 2	0,34	0,33	0,29
Tabung 3	0,33	0,32	0,29
Tabung 4	0,33	0,31	0,29
Tabung 5	0,32	0,28	0,27

Dari tabel diatas terlihat bahwa porositas dari tanah SW lebih besar meskipun kepadatannya sama, hal ini dikarenakan distribusi ukuran butir dari tanah SW yang

lebih merata, dimana pada tanah SW terdapat butiran tanah yang ukurannya relatif besar yaitu butiran yang berdiameter $\pm 4,75$ mm, sehingga pada tanah SW volume porinya lebih besar bila dibandingkan dengan tanah SP.

4.1.4 Resistivitas Sampel Tanah

Pada masing-masing sampel tanah yang telah disaturasi penuh oleh berbagai jenis larutan yang telah disebutkan diatas, dilakukan pengukuran dengan menggunakan Automatic RCL Meter untuk memperoleh nilai resistensinya sebagai berikut:

1. Tanah SW (Pasir dengan gradasi baik)

Tabel 4.7 Resistensi tanah SW

Padatan	Larutan NaCl	R (Ω)				
		1	2	3	4	5
Padat 1	0 gr	1786	1775	1779	1786	1787
	3 gr	1060	1060	1065	1062	1061
	20 gr	275	275	274	281	272
	50 gr	110,3	110,5	111	110,3	109,5
	100 gr	52,02	52,02	51,75	52,01	52,05
Padat 2	0 gr	1889	1890	1887	1888	1888
	3 gr	1274	1273	1274	1275	1275
	20 gr	416,5	416,5	416,6	416,35	416,39
	50 gr	134,8	134,7	134,7	134,8	134,8
	100 gr	60,5	60,6	60,5	60,4	60,3
Padat 3	0 gr	2560	2560	2560	2561	2560,5
	3 gr	1350	1350	1349	1349,5	1350
	20 gr	537,3	537,35	537,4	537,4	537,3
	50 gr	174,9	175	174,8	174,8	174,9
	100 gr	106,7	106,5	106,7	106,6	106,5

2. Tanah SP (Sand Poor / pasir bergradasi buruk)

Tabel 4.8 Resistensi tanah SP

Padatan	Larutan NaCl	R (Ω)				
		1	2	3	4	5
Padat 1	0 gr	2867	2765	2867	2875	2863
	3 gr	1187	1145	1187	1194	1187
	20 gr	896	901	896	895	893
	50 gr	216,6	216,3	216,6	215	213,56
	100 gr	50,09	50,56	49,78	50,09	49,98
Padat 2	0 gr	4003	4005	4006	4004	4010
	3 gr	2384	2384	2384,3	2375	2383
	20 gr	971,5	979,1	982,3	985	979,1
	50 gr	237,3	238,3	237,6	245,5	238,4
	100 gr	141,5	141,1	141,4	143	142,4
Padat 3	0 gr	5041	5041,6	5052,2	5046	5041
	3 gr	3416	3415	3416	3412	3416
	20 gr	1282	1281	1285	1284	1281
	50 gr	301,4	301,5	301,4	302	301,4
	100 gr	169,4	170	168,8	170,3	169,4

Data hasil pengukuran diatas dikalikan dengan dimensi sampel sehingga didapatkan resistivitasnya seperti terdapat pada halaman selanjutnya.

Tabel 4.9 Resistivitas Tanah SW

Padatan	Larutan NaCl	Resistivitas Tanah SW (Ωm)				
		1	2	3	4	5
Padat 1	0 gr	19,193	19,075	19,118	19,193	19,204
	3 gr	11,391	11,391	11,445	11,412	11,402
	20 gr	2,955	2,955	2,944	3,019	2,923
	50 gr	1,185	1,187	1,192	1,185	1,176
	100 gr	0,559	0,559	0,556	0,558	0,559
Padat 2	0 gr	20,3	20,311	20,278	20,289	20,289
	3 gr	13,691	13,68	13,691	13,701	13,701
	20 gr	4,475	4,475	4,477	4,474	4,474
	50 gr	1,448	1,447	1,447	1,448	1,448
	100 gr	0,65	0,651	0,65	0,649	0,648
Padat 3	0 gr	27,516	27,511	27,511	27,522	27,516
	3 gr	14,513	14,507	14,497	14,502	14,507
	20 gr	5,774	5,774	5,775	5,775	5,774
	50 gr	1,879	1,88	1,878	1,878	1,879
	100 gr	1,146	1,144	1,146	1,145	1,144

Tabel 4.10 Resistivitas Tanah SP

Padatan	Larutan NaCl	Resistivitas Tanah SP (Ωm)				
		1	2	3	4	5
Padat 1	0 gr	30,81	29,714	30,81	29,714	30,767
	3 gr	12,756	12,304	12,756	12,831	12,756
	20 gr	9,628	9,682	9,628	9,618	9,596
	50 gr	2,327	2,324	2,31	2,327	2,295
	100 gr	0,538	0,543	0,534	0,538	0,537
Padat 2	0 gr	43,018	43,04	43,051	43,029	43,094
	3 gr	25,62	25,62	25,623	25,523	25,609
	20 gr	10,44	10,522	10,556	10,585	10,522
	50 gr	2,55	2,56	2,553	2,638	2,562
	100 gr	1,52	1,516	1,519	1,536	1,53
Padat 3	0 gr	54,173	54,18	54,294	54,227	54,173
	3 gr	36,71	36,699	36,71	38,816	36,71
	20 gr	13,777	13,766	13,809	14,873	13,766
	50 gr	3,239	3,24	3,239	3,245	3,239
	100 gr	1,82	1,826	1,814	1,83	1,82

Dengan menggunakan hubungan $c=1/\rho$ maka dapat dihitung konduktivitas jenis dari masing-masing sampel sebagai berikut:

Tabel 4.11 Konduktivitas Jenis Tanah SW

Padatan	Larutan NaCl	Konduktivitas Jenis ($1/\Omega m$)				
		1	2	3	4	5
Padat 1	0 gr	0,521	0,524	0,523	0,521	0,52
	3 gr	0,877	0,877	0,873	0,876	0,877
	20 gr	3,383	3,383	3,396	3,311	3,421
	50 gr	8,436	8,421	8,383	8,436	8,497
	100 gr	17,887	17,887	17,981	17,891	17,877
Padat 2	0 gr	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
	3 gr	0,073	0,073	0,073	0,072	0,072
	20 gr	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223
	50 gr	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
	100 gr	1,538	1,535	1,538	1,54	1,543
Padat 3	0 gr	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
	3 gr	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
	20 gr	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
	50 gr	0,532	0,531	0,532	0,532	0,532
	100 gr	0,872	0,873	0,872	0,872	0,873

Tabel 4.12 Konduktivitas Jenis Tanah SP

Padatan	Larutan NaCl	Konduktivitas Jenis ($1/\Omega m$)				
		1	2	3	4	5
Padat 1	0 gr	0,032	0,033	0,245	0,033	0,032
	3 gr	0,078	0,081	0,078	0,077	0,078
	20 gr	0,103	0,103	0,103	0,103	0,104
	50 gr	0,429	0,43	0,432	0,429	0,435
	100 gr	1,857	1,84	1,869	1,857	1,861
Padat 2	0 gr	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
	3 gr	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
	20 gr	0,095	0,095	0,094	0,094	0,095
	50 gr	0,392	0,39	0,391	0,379	0,39
	100 gr	0,657	0,659	0,658	0,65	0,653
Padat 3	0 gr	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
	3 gr	0,027	0,027	0,027	0,025	0,027
	20 gr	0,072	0,072	0,072	0,067	0,072
	50 gr	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308
	100 gr	0,549	0,547	0,551	0,546	0,549

4.1.5 Perhitungan Faktor Formasi dan Konduktivitas Permukaan

Faktor formasi F dan konduktivitas permukaan σ_p dari sampel dapat ditentukan dengan menggunakan proses inversi least square seperti dibawah ini:

1. Tanah SW Padat 1

Matriks yang diperoleh berbentuk $d = G m$

$$\begin{bmatrix} 0.052201 \\ 0.087653 \\ 0.33792 \\ 0.843492 \\ 1.790508 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00226 & 1 \\ 0.63 & 1 \\ 3.81 & 1 \\ 8.28 & 1 \\ 13.44 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

Untuk menghitung matrik m , maka:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00226 & 1 \\ 0.63 & 1 \\ 3.81 & 1 \\ 8.28 & 1 \\ 13.44 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0.052201 \\ 0.087653 \\ 0.33792 \\ 0.843492 \\ 1.790508 \end{bmatrix}$$

perhitungan m didapatkan dengan menggunakan persamaan least square:

$$m^{est} = [G^T G]^{-1} G^T d$$

$$m^{est} = \left(\begin{bmatrix} 0.00226 & 0.63 & 3.81 & 8.28 & 13.44 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00226 & 1 \\ 0.63 & 1 \\ 3.81 & 1 \\ 8.28 & 1 \\ 13.44 & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} G^T d$$

$$m^{est} = \left(\begin{bmatrix} 0.0079 & -0.0411 \\ -0.0411 & 0.4152 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00226 & 0.63 & 3.81 & 8.28 & 13.44 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} 0.052201 \\ 0.087653 \\ 0.33792 \\ 0.843492 \\ 1.790508 \end{bmatrix}$$

$$m^{est} = \begin{bmatrix} -0.0411 & -0.0362 & -0.0112 & 0.0240 & 0.0645 \\ 0.4151 & 0.3893 & 0.2585 & 0.0746 & -0.1376 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.052201 \\ 0.087653 \\ 0.33792 \\ 0.843492 \\ 1.790508 \end{bmatrix}$$

$$m^{est} = \begin{bmatrix} 0.1266 \\ -0.0402 \end{bmatrix}$$

Jadi persamaan garis yang didapatkan untuk tanah SW padat 1 adalah:

$$y = 0.1266x - 0.0402$$

Setelah itu dihitung pula koefisien korelasinya dan didapatkan koefisien korelasi sebesar

0,9843 dengan error relatif sebesar 0,0654

2. Tanah SW padat 2

$$\begin{bmatrix} 0.0493 \\ 0.0730 \\ 0.2234 \\ 0.6905 \\ 1.5391 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00226 & 1 \\ 0.63 & 1 \\ 3.81 & 1 \\ 8.28 & 1 \\ 13.44 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

$$m^{est} = \left(\begin{bmatrix} 0.00226 & 0.63 & 3.81 & 8.28 & 13.44 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00226 & 1 \\ 0.63 & 1 \\ 3.81 & 1 \\ 8.28 & 1 \\ 13.44 & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} G^T d$$

$$m^{est} = \left(\begin{bmatrix} 0.0079 & -0.0411 \\ -0.0411 & 0.4152 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00226 & 0.63 & 3.81 & 8.28 & 13.44 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} 0.0493 \\ 0.0730 \\ 0.2234 \\ 0.6905 \\ 1.5391 \end{bmatrix}$$

$$m^{est} = \begin{bmatrix} -0.0411 & -0.0362 & -0.0112 & 0.0240 & 0.0645 \\ 0.4151 & 0.3893 & 0.2585 & 0.0746 & -0.1376 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.052201 \\ 0.087653 \\ 0.33792 \\ 0.843492 \\ 1.790508 \end{bmatrix}$$

$$m^{est} = \begin{bmatrix} 0.1087 \\ -0.0536 \end{bmatrix}$$

Jadi persamaan garis yang didapatkan untuk tanah sw padat 2 adalah:

$$y = 0.1087x - 0.0536$$

Sedangkan koefisien korelasinya 0,9761 dan error relatif sebesar 0,0744

3. Dengan cara yang sama didapatkan persamaan untuk tanah sw padat 3 adalah:

$$y = 0.0631x + 0.0063$$

Dengan koefisien korelasi 0,9930 dan eror sebesar 0,0072

Untuk tanah SP didapatkan:

1. Padat 1: $y = 0.1248x - 0.1521$ dan koefisien korelasi 0,9087 dan eror 0,4181

2. Padat 2: $y = 0.0482x - 0.0118$ dan koefisien korelasi 0,9868 dan eror 0,0079

3. Padat 3: $y = 0.0403x - 0.0158$ dan koefisien korelasi 0,9847 dan eror 0,0065

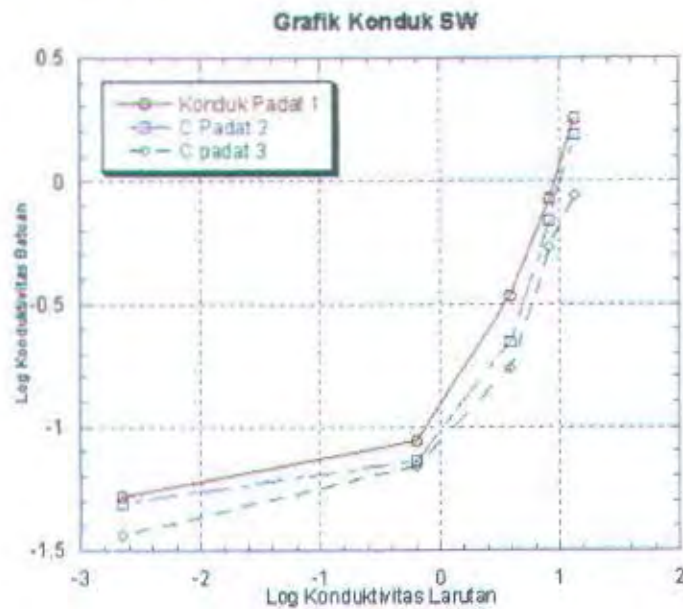
Untuk menghitung nilai faktor formasi dan konduktivitas permukaan digunakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan konduktivitas permukaan.

4.2 Pembahasan

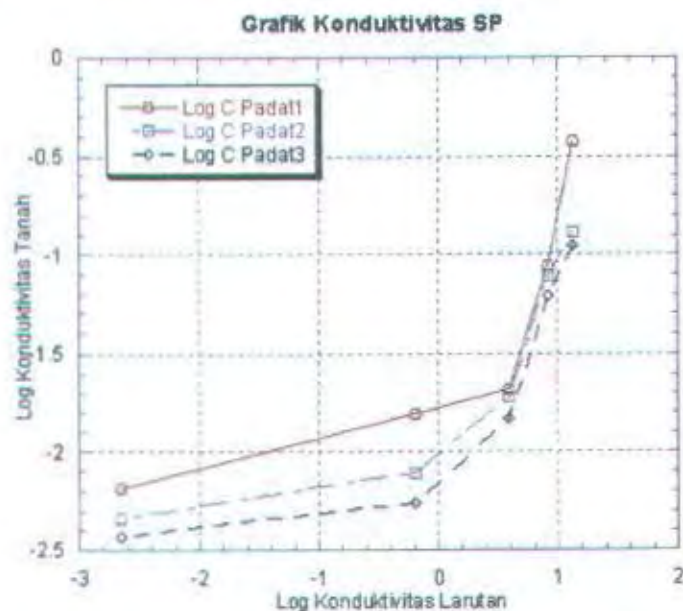
4.2.1 Menentukan Hubungan Konduktivitas Tanah dengan Konduktivitas Larutan

Pada penentuan hubungan antara konduktivitas tanah dengan konduktivitas larutan ini digunakan data pada grafik konduktivitas tanah dan konduktivitas larutan dengan mengubah kedua sumbu tersebut menjadi logaritma. Dari data konduktivitas

jenis diatas maka dapat dibuat grafik hubungan antara konduktivitas tanah dengan konduktivitas larutan yang mengisinya sebagai berikut:



Grafik 4.3 Grafik Logaritmik Konduktivitas tanah SW-Konduktivitas Larutan



Grafik 4.4 Grafik Logaritmik Konduktivitas tanah SP-Konduktivitas Larutan

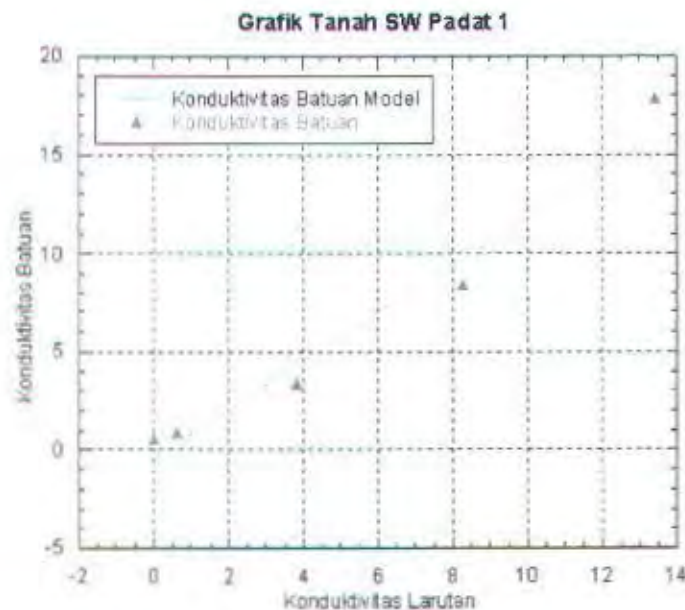
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa nilai konduktivitas tanah sebanding dengan konduktivitas larutan yang mengisi pori. Semakin besar konduktivitas larutan yang mengisi pori-pori tanah maka semakin besar pula konduktivitas tanah tersebut.

Pada kedua jenis tanah SW dan SP semakin padat tanah tersebut maka konduktivitas tanah tersebut semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin padat tanah maka kemampuan tanah tersebut menghantarkan listrik semakin kecil.

4.2.2 Menentukan Nilai Faktor Formasi dan Konduktivitas Permukaan

Dari proses inversi didapatkan persamaan garis lurus untuk masing-masing kepadatan sehingga dapat digambarkan sebagai grafik berikut ini:

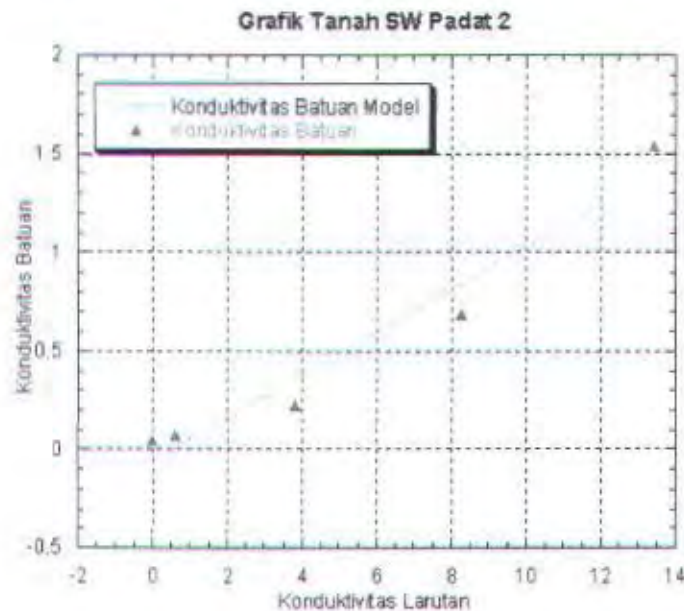
1. Faktor formasi dan konduktivitas permukaan tanah SW padat 1



Gambar 4.5 Grafik konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas fluida pada tanah SW padat 1

Dari grafik diatas faktor formasi merupakan kemiringan dari garis $y=0,1266x-0,0402$ sehingga didapatkan faktor formasi untuk tanah SW padat 1 sebesar 7,899. Sedangkan Konduktivitas permukaan adalah nilai pada $x=0$ sehingga konduktivitas permukaan tanah SW padat 1 adalah -0,0402.

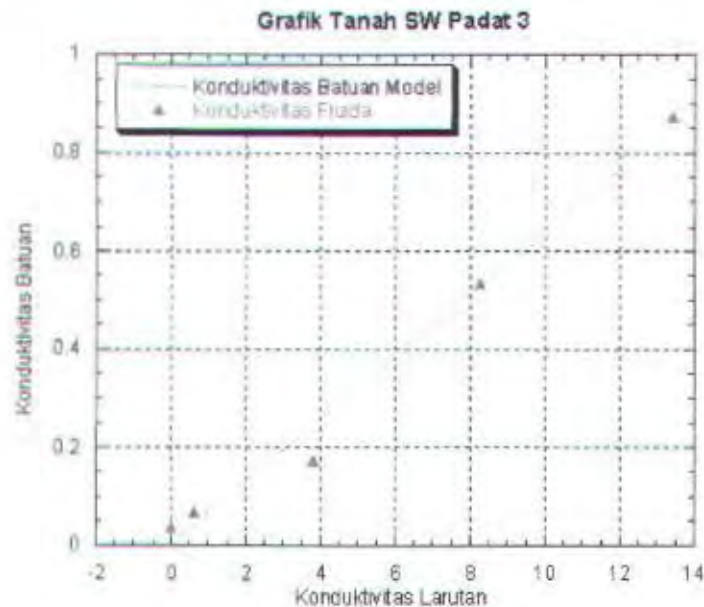
2. Faktor formasi dan konduktivitas permukaan tanah SW padat 2



Gambar 4.6 Grafik Konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas larutan tanah SW padat 2

Dari grafik diatas faktor formasi merupakan kemiringan dari garis $y=0,1087x-0,0536$ sehingga didapatkan faktor formasi untuk tanah SW padat 2 sebesar 9,1996. Sedangkan Konduktivitas permukaan adalah nilai pada $x = 0$ sehingga konduktivitas permukaan tanah SW padat 2 adalah -0,0536.

3. Faktor formasi dan konduktivitas permukaan tanah SW padat 3



Gambar 4.7 Grafik Konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas larutan pada tanah SW padat 3

Dari grafik diatas faktor formasi merupakan kemiringan dari garis $y=0,0631x+0,0063$ sehingga didapatkan faktor formasi untuk tanah SW padat 3 sebesar 15,848. Sedangkan Konduktivitas permukaan adalah nilai pada $x = 0$ sehingga konduktivitas permukaan tanah SW padat 3 adalah 0,0063.

Dari ketiga grafik diatas didapatkan konduktivitas permukaan pada tanah SW padat 1 dan 2 yang bernilai negatif hal ini berarti pada sampel tersebut terjadi polarisasi yang diakibatkan oleh adanya sementasi yang terjadi di dalam sampel. Sedangkan pada padat 3 tidak terjadi karena tekanan yang besar yang diberikan pada sampel sehingga sementasi antar batuan rusak.

4. Faktor formasi dan konduktivitas permukaan tanah SP padat 1

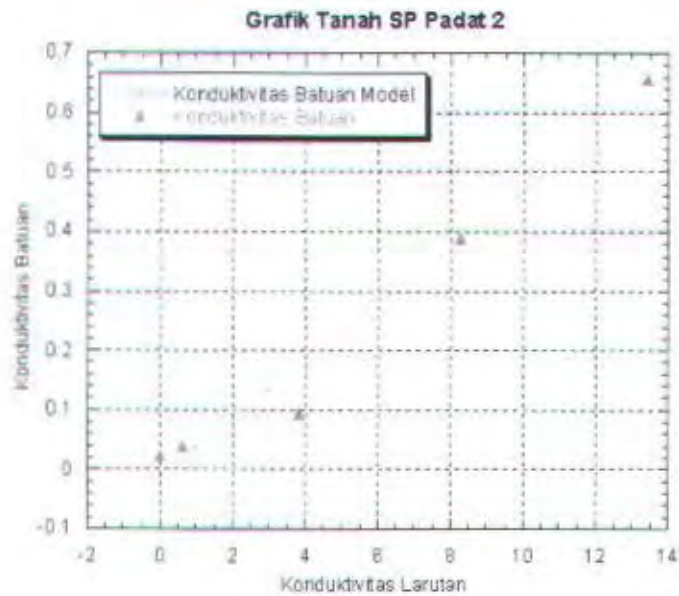


Gambar 4.8 Grafik Konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas larutan pada tanah SP padat 1

Dari grafik diatas faktor formasi merupakan kemiringan dari garis $y=0,1248x-0,1521$ sehingga didapatkan faktor formasi untuk tanah SP padat 1 sebesar 8,013. Sedangkan Konduktivitas permukaan adalah nilai pada $x = 0$ sehingga konduktivitas permukaan tanah SP padat 1 adalah -0,1521.

5. Faktor formasi dan konduktivitas permukaan tanah SP padat 2

Dari grafik faktor formasi dibawah merupakan kemiringan dari garis $y=0,0482x-0,0118$ sehingga didapatkan faktor formasi untuk tanah SP padat 2 sebesar 20,747. Sedangkan Konduktivitas permukaan adalah nilai pada $x = 0$ sehingga konduktivitas permukaan tanah SP padat 2 adalah -0,0118.



Gambar 4.9 Grafik Konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas larutan pada tanah SP padat 2

6. Faktor formasi dan konduktivitas permukaan tanah SP padat 3



Gambar 4.10 Grafik Konduktivitas batuan sebagai fungsi konduktivitas larutan pada tanah SP padat 3

Dari grafik diatas faktor formasi merupakan kemiringan dari garis $y=0,0403x-0,0158$ sehingga didapatkan faktor formasi untuk tanah SP padat 2 sebesar 20,747. Sedangkan Konduktivitas permukaan adalah nilai pada $x = 0$ sehingga konduktivitas permukaan tanah SP padat 2 adalah -0,0158.

Dari ketiga grafik diatas terlihat bahwa rata-rata tanah SP memiliki faktor formasi yang lebih besar dari tanah SW hal ini dikarenakan pada tanah SP butir-butir tanah yang halus (yang lolos ayakan 200) jauh lebih banyak sehingga polarisasi yang terjadi di dalam sampel tanah SP juga lebih besar. Hal ini dapat dilihat pula dari semua harga konduktivitas permukaannya yang negatif.

Jadi nilai faktor formasi dan konduktivitas permukaan pada masing-masing sampel tercantum dalam Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.13 Nilai faktor formasi dan konduktivitas sampel

Jenis Tanah	Kepadatan	Faktor Formasi	Konduktivitas Permukaan
Tanah SW	Padat 1	7,899	-0,0402
	Padat 2	9,1996	-0,0536
	Padat 3	15,848	0,0063
Tanah SP	Padat 1	8,013	-0,1521
	Padat 2	20,747	-0,0118
	Padat 3	24,814	-0,0158

Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai faktor formasi F pada masing-masing tanah semakin meningkat seiring dengan naiknya kepadatan tanah. Sedangkan harga konduktivitas permukaan dari sampel tidak menunjukkan suatu korelasi yang signifikan dengan kepadatan tanah.

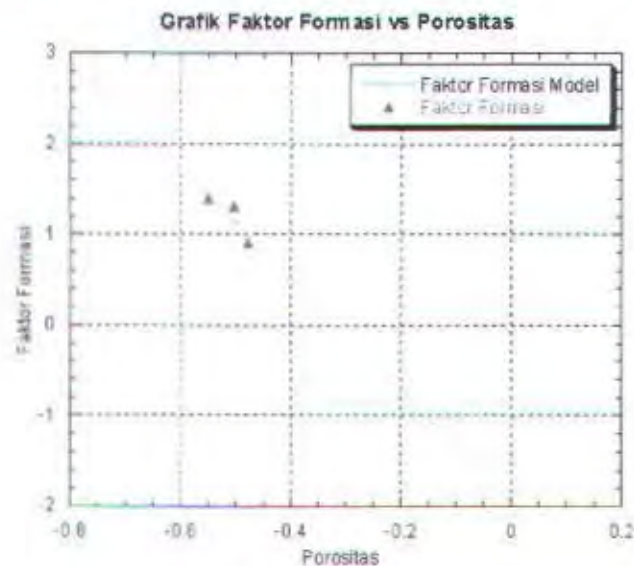
4.2.3 Menentukan Hubungan antara Faktor Formasi dan Porositas

Dari persamaan (2.14) kita dapat menentukan harga dari a dan m yang masing-masing merupakan konstanta yang menunjukkan sementasi dan koefisien sementasi dengan menggunakan grafik hubungan antara faktor formasi F dan porositas tanah. Adapun perhitungannya tetap menggunakan inversi metode *least square*.

Tabel 4.14 Nilai faktor formasi dan porositas tanah SW

Faktor Formasi	Porositas
7,89	0,35763
9,19	0,31596
15,85	0,27993

Dari data diatas dilakukan inversi metode *least square* sehingga didapatkan persamaan garis $y = -0,4607 - 2,9283x$ yang dapat digambarkan dalam grafik berikut:



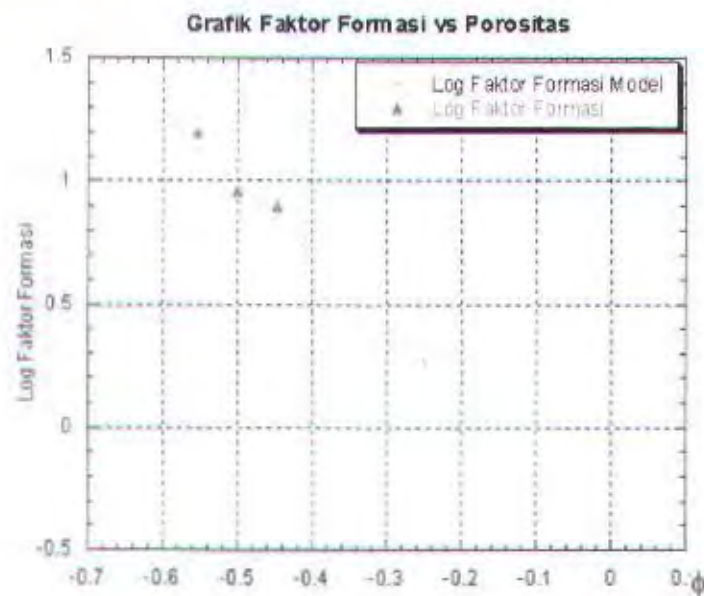
Gambar 4.11 Grafik hubungan faktor formasi dan porositas

Dari grafik diatas dapat dihitung bahwa nilai $a = 0,35$ dan $m = 2,93$. Dari angka ini dapat kita lihat bahwa sementasi yang terjadi pada tanah SW sangat kecil.

Tabel 4.15 Nilai faktor formasi dan porositas tanah SW

Faktor Formasi	Porositas
7,89	0,35763
9,19	0,31596
15,85	0,27993

Dari inversi metode *least square* didapatkan persamaan garis $y = -1,95 - 6,195x$ yang dapat digambarkan dalam grafik berikut:



Gambar 4.12 Grafik hubungan faktor formasi dan porositas tanah SP

Dari grafik dapat ditentukan bahwa nilai $a = 0,01$ dan $m = 6,195$, dimana kita dapatkan koefisien sementasi pada tanah SW ini lebih besar daripada tanah SP sehingga faktor

formasi yang dimiliki tanah SP juga jauh lebih besar hal ini dikarenakan polarisasi yang lebih besar terjadi pada tanah SP.

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai faktor formasi dari batuan tidak berhubungan dengan porositas, sehingga kenaikan porositas tidak selalu merupakan kenaikan faktor formasi atau penurunan faktor formasi. Terlihat bahwa nilai faktor formasi dan porositas yang masih mungkin hanya terdapat dalam range 0 – 1. Sehingga dapat dikatakan porositas tidak mempengaruhi harga dari faktor formasi secara signifikan.

4.2.4 Membandingkan Hasil Permodelan dengan Permodelan J.H. Schon

Permodelan yang didapatkan dari analisa data yang didapatkan dari penelitian sesuai dengan permodelan J.H Schon yang menyatakan bahwa didalam batuan yang tersaturasi penuh oleh larutan elektrolit akan memiliki harga konduktivitas yang sebanding dengan konduktivitas larutan pengisi porinya. dari hasil pengukuran dan perhitungan didapatkan harga konduktivitas dari sampel tanah SW padat 1 dan 2 bernilai negatif begitu pula dengan seluruh sampel dari tanah SP, hal ini menandakan bahwa didalam sampel terjadi pembalikan arah arus (polarisasi). Polarisasi ini mungkin terjadi karena didalam sampel terjadi sedikit sementasi yang terjadi karena butiran tanah yang sangat halus yaitu butiran tanah yang lolos saringan no. 200 yang sebenarnya prosentasenya kurang dari 5%.

Didapatkan harga koefisien sementasi tanah SW sebesar 2,93 dan untuk tanah SP 6,195. Harga koefisien sementasi ini lebih besar dari 1,5 yang merupakan koefisien

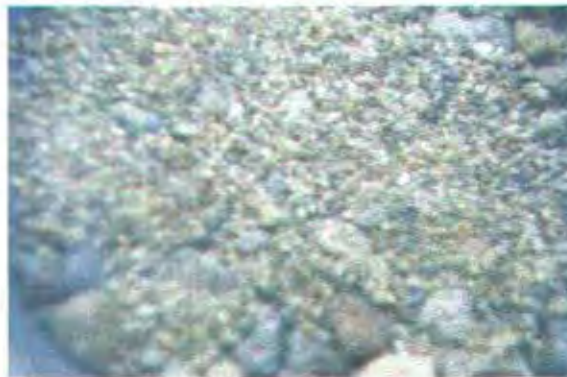
sementasi dari batuan pasir yang tidak terkonsolidasi. Maka dapat dianggap bahwa didalam tanah tersebut terjadi proses sementasi oleh butiran tanah yang halus.

4.2.5 Analisa Fotografi

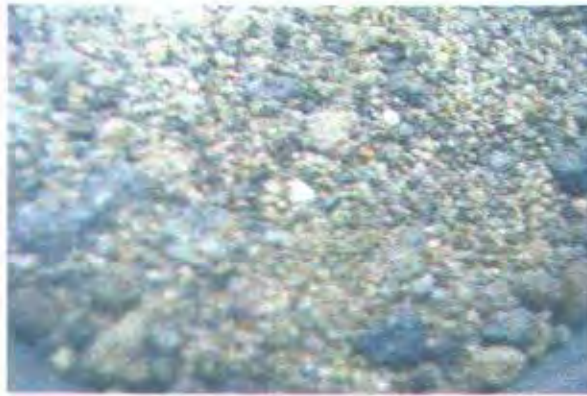
Pada tugas akhir ini ingin ditambahkan analisa berdasarkan gambar dari permukaan masing-masing sampel yang diambil dengan menggunakan kamera Nikon Coolpix1500 pada keadaan kering dan basah. Diharapkan didapatkan gambaran yang jelas tentang distribusi butir dari sampel dan kondisi permukaan dari sampel. Adapun gambar-gambar tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.13 Tanah SW Padat 1 kering



Gambar 4.14 Tanah SW Padat 2 kering

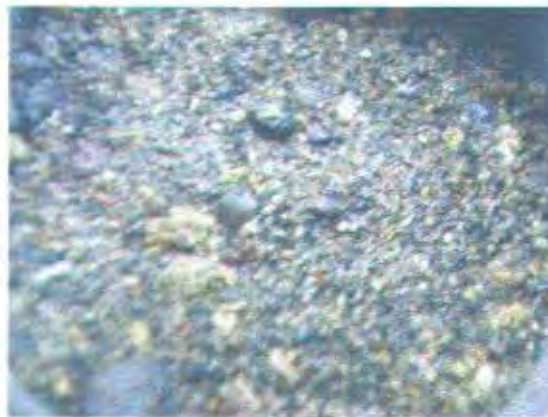


Gambar 4.15 Tanah SW Padat 3 kering

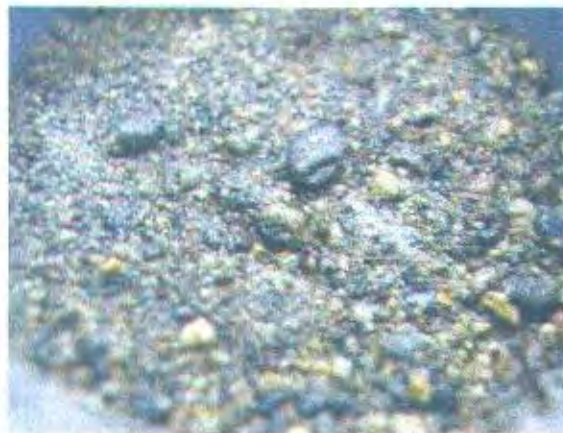
Dari ketiga gambar diatas terlihat bahwa tanah SW memiliki range butiran yang merata mulai dari ukuran kerikil sampai pasir dan warnanya hampir seragam yaitu abu-abu yang menunjukkan bahwa penyusun utama dari tanah pasir ini adalah batuan andesit. Resistivitas yang dimiliki ketiga tanah ini bervariasi berdasarkan kepadatan dan larutannya. Semakin padat tanah maka nilai resistivitasnya semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin padat suatu tanah maka semakin sulitlah aliran ion untuk melewati batuan tersebut.



Gambar 4.16 Tanah SW padat 1 basah



Gambar 4.17 Tanah SW padat 2 basah



Grafik 4.18 Tanah SW padat 3 basah

Dari ketiga gambar tanah SW dalam keadaan basah diatas diharapkan mampu menunjukkan hubungan antar butir dari partikel tanah pada saat basah. Sehingga dapat diketahui pola geometri permukaan dari sampel. Dari pola geometri permukaan sampel dapat diprediksikan aliran ion dalam sampel tersebut (jalur pergerakan ion / *tortuosity*) dan juga apa yang menyebabkan suatu bahan memiliki konduktivitas permukaan. Dari gambar diatas terlihat bahwa pola geometri dari tanah SW tidak terlalu rumit karena adanya matrik yang berukuran besar sehingga resistivitasnya juga relatif kecil.



Gambar 4.19 Tanah SP padat 1 kering



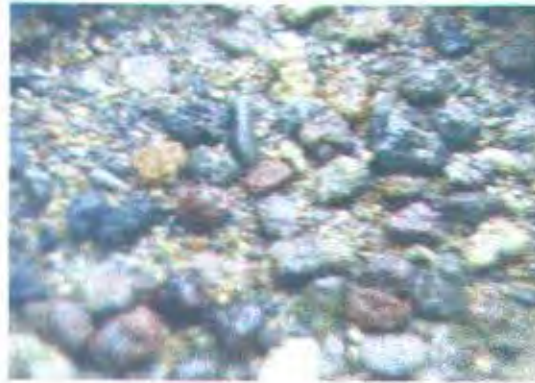
Gambar 4.20 Tanah SP padat 2 kering



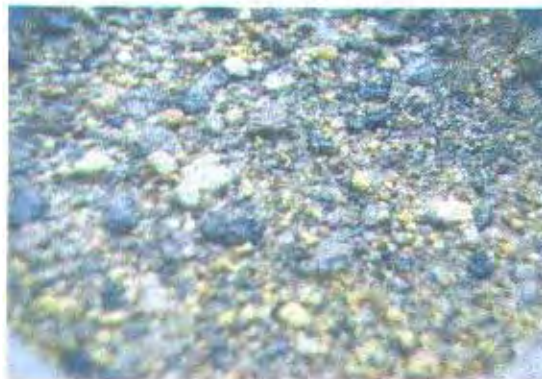
Gambar 4.21 Tanah SP padat 3 kering

Ketiga jenis tanah diatas memiliki warna abu-abu kekuningan yang menunjukkan bahwa tanah ini sebagian besar tersusun atas mineral plagioclase dan

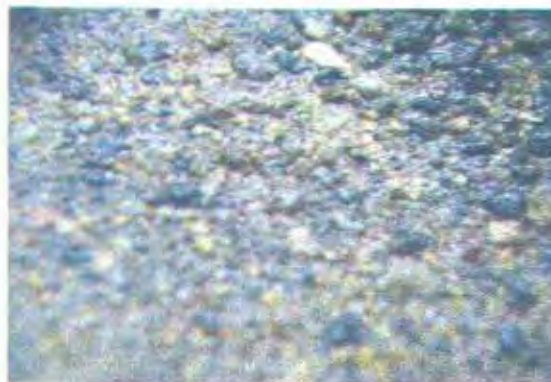
sedikit feromagnesium, ukuran butir yang hampir seragam dan memiliki banyak partikel yang merupakan golongan pasir halus. Mungkin inilah yang menyebabkan tanah SP memiliki resistivitas yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah SW.



Gambar 4.22 Tanah SP padat 1 basah



Gambar 4.23 Tanah SP padat 2 basah



Gambar 4.24 Tanah SP padat 3 basah

Pada tanah SP yang basah ini terdapat warna kuning dalam jumlah yang besar, warna ini berasal dari butiran halus yang kemungkinan terbesarnya berasal dari lempung. Hal inilah yang menyebabkan nilai faktor formasi tanah SP besar. Hal ini pulalah yang menjadi latar belakang mengapa nilai konduktivitas permukaan tanah SP bernilai negatif karena lempung yang terdispersi didalam sampel menyebabkan polarisasi. Hal ini dibuktikan oleh cukup besarnya nilai koefisien sementasi dari tanah SP.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Melalui pengambilan data, analisa data serta dengan mempelajari tinjauan pustaka yang ada maka dalam tugas akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Konduktivitas tanah yang tersaturasi penuh oleh larutan elektrolit berbanding lurus dengan konduktivitas dari larutan elektrolit tersebut.
- Nilai Konduktivitas batuan dapat menurun akibat deformasi karena tekanan (berkorelasi dengan padatan).
- Faktor formasi adalah tingkat kesulitan aliran listrik melalui suatu batuan, nilai faktor formasi tidak dipengaruhi oleh porositas dari batuan.
- Nilai faktor formasi yang didapatkan untuk tanah SW padat 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah: 7.899, 9.1996, 15.848 dan untuk tanah SP padat 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah: 8.013, 20.747, dan 24.814.
- Konduktivitas permukaan adalah suatu sifat menghantarkan listrik oleh material yang berkorelasi dengan luasan butir materi penyusunnya. Nilai konduktivitas permukaan tanah SW padat 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah: -0,0402, -0,0536, dan 0,0063, sedangkan untuk tanah SP padat 1, 2 dan 3 masing-masing adalah: -0,1521, -0,0118 dan -0,0158.
- Dengan mempergunakan persamaan Archie I dapat ditentukan nilai konstanta sementasi a dan koefisien sementasi m . Untuk tanah SW didapatkan koefisien sementasinya 2,93 dan tanah SP 6,195.

- Nilai konduktivitas didapatkan bernilai negatif karena terjadi polarisasi.
- Berdasarkan analisa petrografi distribusi butir memegang peranan penting dalam geometri permukaan dan struktur geometri batuan yang menentukan besarnya nilai faktor formasi dan konduktivitas permukaan.

5.2. Saran

Tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai penelitian awal untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berbasis pengetahuan ataupun aplikasinya, misalnya:

- Penelitian mengenai aplikasi faktor formasi untuk analisa kekuatan beton.
- Penelitian mengenai pembuatan alat portabel pengukur kepadatan tanah.
- Penelitian petrografi tentang pengaruh lempung dan retakan pada faktor formasi batuan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- William Menke (1984), *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, College of Oceanography Oregon State University, Oregon
- Joseph E. Bowles, Johan K. Hainim (1986) *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta
- M. Isa Darma Wijaya (1980), *Klasifikasi Tanah*, Balai Penelitian Tanah dan Kina, Bandung
- Noor Endah Mochtar (1987), *Penunjuk Cara Menentukan Sifat Fisik Tanah di Laboratorium*, Laboratorium mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Surabaya
- Noor Endah Mochtar (1994), *Mekanika Tanah*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya
- J. H. Schon (1996), *Physical Properties of Rock: Fundamental and Principles of Petrophysics*, Pergamon, Austria
- Telford, W.M. dkk (1976), *Applied Geophysics*, Edisi Kedua, Cambridge University Press, London
- Abdul Haris (2001), *Penentuan Posisi Situs Candi di Kompleks Candi Gentong dengan Metode Tahanan Jenis*, Tugas Akhir ITS, Surabaya
- Fernandes Oktavianus (2002), *Menentukan Resistivitas Tanah Pasir serta Variasinya terhadap kandungan Air dan Jenis Air dengan Menggunakan Metode Geolistrik*, Tugas Akhir ITS, Surabaya

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Jenis Tanah / Batuan	Nilai Resistivitas (Ωm)			
	Griffiths and Kings	David K. Todd	Herman Bouwer	Dep. Pekerjaan Umum
Soft shale	0.5 – 10	0.5 – 1.5	-	-
Hard shale	10 – 500	0.5 – 1.5	-	-
Soft clay	1 – 10	8 – 14	< 1	1.5 – 3
Stiff clay	1 – 10	6 – 10	< 1	3 – 15
Silt	-	10 – 400	-	15 – 150
Sand	50 – 2000	200 – 1000	-	± 300
Pasir jenuh air	-	20 – 50	100 – 250	-
Pasir – kerikil	-	170 – 400	300 – 600	300 – 2400
Pasir – kerikil jenuh air tawar	-	30 – 60	15 – 600	20 – 60
Pasir – kerikil + air asin	-	-	15 – 20	0.18 – 0.24
Igneous rocks	$10^2 - 10^6$	-	-	-
Metamorphic rocks	$50 - 10^6$	-	-	-
Clay stones	-	10 – 200	-	150 – 300
Sand stones	5 – 5000	50 – 5000	-	± 2400
Porous limestones	100 – 8000	100 – 8000	-	-
Dense limestones	$2000 - 10^6$	$2000 - 10^6$	-	-

LAMPIRAN B

Nomoe Ayakan	Ukuran Lubang Ayakan (mm)
4	4.75
6	3.35
8	2.36
10	2.00
16	1.18
20	0.85
30	0.60
40	0.425
50	0.30
60	0.25
80	0.18
100	0.15
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Catatan: Nomor ayakan menunjukkan banyaknya lubang dalam satu inchi kuadrat

LAMPIRAN C

GRAVEL

Run sieve analysis and if less than 50% passed the # 200 sieve, then the soil is coarse. If more than 50% of the coarse material is retained on the # 4 sieve, then the soil is gravel.

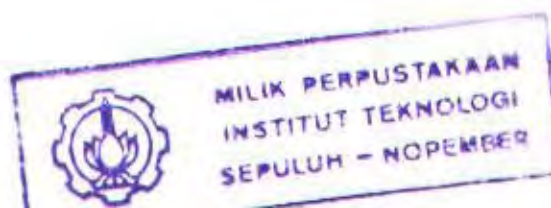
% Passing # 200 Sieve	Unified Soil Classification Criteria	Group Symbol	Group Name
Less than 5 %	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$	GW	Well graded gravel
	$C_u < 4$ or $1 > C_c > 3$	GP	Poorly graded gravel
Between 5% and 12%	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$ and fines classify as CL or CH	GW – GC	Well graded gravel with clay
	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$ and fines classify as ML or MH	GW – GM	Well graded gravel with silt
clay	$C_u < 4$ or $1 > C_c > 3$ and fines classify as CL or CH	GP – GC	Poorly graded gravel with
silt	$C_u < 4$ or $1 > C_c > 3$ and fines classify as ML or MH	GP – GM	Poorly graded gravel with
More than 12%	Fines classify as CL or CH (LL and PL above A line)	GC	Clayey gravel
	Fines classify as ML or MH (LL and PL below A line)	GM	Silty gravel
	Fines classify as CL – ML (LL and PL in shaded area)	GC-GM	Silty, clayey gravel

LAMPIRAN D

SAND

Run sieve analysis and if less than 50% passed the # 200 sieve, then the soil is coarse. If less than 50% of the coarse material is retained on the # 4 sieve, then the soil is sand.

% Passing # 200 Sieve	Unified Soil Classification Criteria	Group Symbol	Group Name
Less than 5 %	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Well graded sand
	$Cu < 6$ or $1 > Cc > 3$	SP	Poorly graded sand
Between 5% and 12%	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ and fines classify as CL or CH	SW – SC	Well graded sand with clay
	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ and fines classify as ML or MH	SW – SM	Well graded sand with silt
	$Cu < 6$ or $1 > Cc > 3$ and fines classify as CL or CH	SP – SC	Poorly graded sand with clay
	$Cu < 6$ or $1 > Cc > 3$ and fines classify as ML or MH	SP – SM	Poorly graded sand with silt
More than 12%	Fines classify as CL or CH (LL and PL above A line)	SC	Clayey sand
	Fines classify as ML or MH (LL and PL below A line)	SM	Silty sand
	Fines classify as CL – ML (LL and PL in shaded area)	SC-SM	Silty, clayey sand



LAMPIRAN E

```
x=[x1 x2 x3 x4 x5]
y=[y1 y2 y3 y4 y5]
```

```
m=length(x); x=x(:); y=y(:);
sx=sum(x); sy=sum(y);
sxx=sum(x.*x); sxy=sum(x.*y);
syy=sum(y.*y);
```

```
a=(m*sxy - sx*sy) / (m*sxx - sx^2)
b=(sxx*sy - sxy*sx) / (m*sxx - sx^2)
```

```
table=[x y (a*x+b) (y - (a*x+b))];
disp(
disp(table), err=sum(table(:, 4) .^2)
s(1)=a; s(2)=b;
```

```
o=(m*sxx - sx^2)^(0.5);
l=(m*syy - sy^2)^(0.5);
R=((m*sxy - sx*sy) / (o*l))
```

```
figure(1)
plot(x,y, 'x,(a*x+b), '); grid
figure(2)
plot(x,y,x,(a*x+b)); grid
```

LAMPIRAN F

Perhitungan-perhitungan

1. Perhitungan resistivitas dan konduktivitas sampel

$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

$$A = 0,25 D^2 \pi$$

$$= 0,25 \times 3,7^2 \times 3,14$$

$$= 10,74665 \text{ cm}^2$$

$$= 0,001074665 \text{ m}^2$$

$$l = 0,1 \text{ m}$$

$$\rho = R \cdot 0,01074665 \text{ dan } c = 1 / \rho$$

Dimana : ρ = hambatan jenis sampel (Ωm)

R = resistivitas hasil pengukuran (Ω)

A = luas penampang sampel (m^2)

c = konduktivitas jenis sampel ($\frac{1}{\Omega\text{m}}$)

2. Perhitungan porositas tanah tiap tabung

$$\text{Volume tabung} = \frac{1}{4} \pi d^2 t \quad \text{dimana } d = \text{diameter tabung}$$

t = panjang tabung

$$= \frac{1}{4} \pi (3,7 \times 10^{-2})^2 \cdot 0,1 = 0,0001704665 \text{ m}^3$$

Perhitungan spesifik gravity larutan:

Untuk larutan 1 : $\gamma_w^* = \rho = 1 \text{ gr/cm}^3$

Untuk larutan 2 : $\gamma_w^* = \rho = \frac{3+1000}{1000} = 1.003 \text{ gr/cm}^3$

Untuk larutan 3 : $\gamma_w^* = \rho = \frac{20+1000}{1000} = 1.02 \text{ gr/cm}^3$

Untuk larutan 4 : $\gamma_w^* = \rho = \frac{50+1000}{1000} = 1.05 \text{ gr/cm}^3$

Untuk larutan 5 : $\gamma_w^* = \rho = \frac{100+1000}{1000} = 1.1 \text{ gr/cm}^3$

Volume void : $V_v = \frac{W_w}{\gamma_w^*}$

Sehingga volume void untuk masing-masing tabung :

Tanah tipe SW

Kepadatan	1	2	3
larutan 1	40	35.5	30.6
2	39.28215	36.39083	31.50548
3	42.45098	32.84314	30.78431
4	35.52381	32.95238	29.52381
5	34.90909	32.09091	28

Tanah tipe SP

Kepadatan	1	2	3
larutan 1	37	35.7	30.7
2	36.68993	35.39382	30.80758
3	35.78431	33.92157	30.78431
4	35.33333	33.80952	30.95238
5	33.90909	30.45455	28.63636

Porositas : $n = \frac{V_v}{V}$

Sehingga porositas masing-masing sampel adalah :

Tanah tipe SW :

Kepadatan		1	2	3
larutan 1		0.372209014	0.330335	0.28474
	2	0.365529291	0.338625	0.293166
	3	0.395015939	0.305613	0.286455
	4	0.330557053	0.306629	0.274726
	5	0.324836958	0.298613	0.260546

Tanah tipe SP

Kepadatan		1	2	3
larutan 1		0.344293338	0.332197	0.28567
	2	0.341408069	0.329347	0.286671
	3	0.332981103	0.315648	0.286455
	4	0.328784629	0.314605	0.288019
	5	0.315531732	0.283386	0.266468

LAMPIRAN G

Pemadatan Sampel Tanah

Kepadatan tanah

Untuk mencapai tujuan penelitian dibuat tiga kepadatan sampel yang berbeda pada tabung pipa PVC yang berukuran panjang 0,1 m dan diameter 0,037 m, yaitu:

Kepadatan I → Berat tanah 192,6 gr

Kepadatan II → Berat tanah 198 gr

Kepadatan III → Berat tanah 203,4 gr

Agar dicapai kepadatan yang berbeda dan seragam maka dilakukan perlakuan yang sama pada masing-masing kepadatan sebagai berikut:

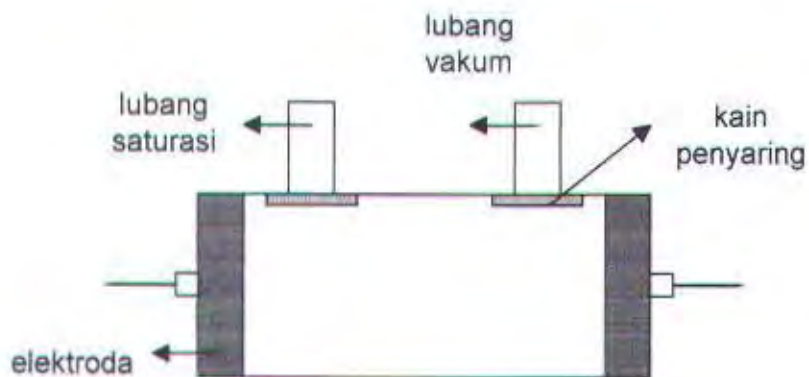
1. Untuk kepadatan I tanah pasir ditimbang terlebih dahulu dan agar kepadatannya merata maka pemadatannya dilakukan dengan mengetuk pipa PVC yang telah berisi tanah berulang kali hingga didapatkan kepadatan I.
2. Untuk kepadatan II tanah pasir yang akan dimasukkan kedalam tabung ditimbang sesuai dengan berat yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan secara bertahap dan dipadatkan dengan menggunakan mesin penekan secara perlahan-lahan.
3. Untuk kepadatan III langkah yang dilakukan hampir sama dengan kepadatan II tetapi dengan penekanan yang lebih besar dibandingkan dengan kepadatan II.

LAMPIRAN H

Proses Pemvakuman

Setelah tanah pasir masuk kedalam tabung sesuai dengan kepadatannya masing-masing maka dilakukan proses pemvakuman yang bertujuan untuk menghilangkan semua udara yang terjebak di dalam pori-pori tanah.

Untuk itu tabung yang telah berisi tanah dihubungkan dengan pompa vakum dan dilakukan pemvakuman lebih kurang selama empat jam. Adapun rangkaian proses pemvakuman terdapat dalam gambar dibawah ini:



LAMPIRAN I

Proses Saturasi

Untuk memperoleh data yang diinginkan maka harus didapatkan sampel yang tersaturasi penuh oleh air pori. Untuk memperoleh sampel yang tersaturasi penuh oleh larutan pengisi pori maka tabung yang telah diisi oleh tanah pasir dan divakumkan dengan menggunakan pompa vakum ditetesi dengan larutan pengisi porinya secara perlahan-lahan dengan menggunakan tabung infus sehingga jika sampel telah tersaturasi penuh dengan larutan maka tabung infus akan memiliki tekanan yang sama dengan tabung sehingga larutan tidak akan menetes kembali. Adapun rangkaian alat untuk proses saturasi adalah sebagai berikut:

